

Tendances de la qualité de l'eau de 1999 à 2008 dans dix bassins versants agricoles au Québec



2013

*Développement durable,
Environnement,
Faune et Parcs*

Québec 

Photos de la page couverture :

- La rivière Boyer Nord observée à partir de la station du réseau de suivi
- Échantillonnage de la rivière Boyer Nord
- Station hydrométrique à la rivière des Îles Brûlées
- Jaugeage pour la détermination des débits au ruisseau Runnels

Crédit photo : Michel Patoine, MDDEFP

Ce document peut être consulté sur le site Internet du Ministère : www.mddefp.gouv.qc.ca

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2013

ISBN 978-2-550-68544-9 (PDF)

© Gouvernement du Québec, 2013

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Auteurs	Michel Patoine François D'Auteuil-Potvin
Révision scientifique	Serge Hébert Marc Simoneau
Échantillonnage	René Therreault Manon Ouellet Sylvie Legendre
Analyses de laboratoire	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
Cartographie et compilation de données d'utilisation du territoire	Lyne Blanchet Mona Frenette
Traitement de données de qualité de l'eau	Mario Bérubé
Mise en page	Murielle Gravel
Graphisme	France Gauthier

Référence bibliographique :

PATOINE, Michel et François D'Auteuil-Potvin, 2013. *Tendances de la qualité de l'eau de 1999 à 2008 dans dix bassins versants agricoles au Québec*, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ISBN 978-2-550-68544-9 (PDF), 22 p. + 7 ann.

Mots clés

Tendances de qualité de l'eau; pollution diffuse; agriculture

AVANT-PROPOS

Les tendances de la qualité de l'eau au cours de la période 1999-2008, dans dix bassins versants agricoles où la pollution diffuse est dominante, ont fait l'objet de deux publications parues originellement en anglais : la première, sur l'analyse des données non ajustées en fonction du débit, dans le document *Book of Selected Papers : Issues and Solutions to Diffuse Pollution* (Patoine et autres, 2011), et la seconde, sur les données ajustées en fonction du débit, dans la revue *Water Science & Technology* (Patoine et autres, 2012). Le présent rapport regroupe le contenu de ces deux publications et fournit de l'information complémentaire sur les bassins versants étudiés et sur la qualité de l'eau.

RÉSUMÉ

Cette étude présente les tendances de la qualité de l'eau de surface au cours de la période allant de 1999 à 2008, dans dix bassins versants du Québec méridional où la pollution diffuse d'origine agricole est dominante et où les rejets d'eaux usées municipales sont demeurés stables ou absents. Deux analyses de tendances ont été réalisées, l'une basée sur les données non ajustées en fonction du débit, et l'autre, sur les données ajustées pour enlever l'effet du débit. Les principaux changements survenus dans les bassins versants durant cette période, consécutifs à l'application de la réglementation et à la mise en oeuvre de programmes agricoles surtout orientés sur le contrôle du phosphore, sont également mis en relation avec l'évolution de la qualité de l'eau.

L'analyse réalisée à l'aide des données non ajustées en fonction du débit a permis de faire ressortir des tendances globales résultant des facteurs naturels et humains et de comparer les valeurs en fin de période aux critères de qualité de l'eau pour les écosystèmes aquatiques et les usages. Cette première analyse montre une amélioration de la qualité de l'eau à plusieurs stations, mais cette amélioration ne permet pas encore de respecter les critères de qualité de l'eau pour l'ensemble des usages.

L'analyse réalisée à l'aide des données ajustées en fonction du débit, en enlevant l'effet des changements naturels liés à l'hydrologie, a permis de dégager les tendances causées par les facteurs humains comme l'implantation de bonnes pratiques liée notamment aux règlements et aux programmes agricoles. Cette deuxième analyse montre une réduction significative du phosphore total dans huit rivières, de l'azote ammoniacal dans cinq rivières, des nitrates et nitrites dans quatre rivières, de l'azote total filtré dans trois rivières et des matières en suspension dans deux rivières. Cette réduction a varié de 21 % à 69 % selon le paramètre et la station. L'analyse montre par contre une augmentation de la turbidité dans quatre rivières et l'absence de tendance pour les coliformes fécaux.

La diminution des apports en phosphore minéral sur les terres cultivées, liée à des mesures comme la mise en place de plans agroenvironnementaux de fertilisation et l'addition de phytase dans l'alimentation des porcs et de la volaille, contribue à expliquer les réductions en phosphore observées dans la plupart des rivières.

Toutefois, dans sept rivières, les concentrations de phosphore estimées à la fin de la période demeurent au moins deux fois supérieures au critère de qualité pour la protection des cours d'eau contre l'eutrophisation. Les concentrations de certains autres paramètres demeurent également problématiques.

Ces résultats montrent la nécessité de poursuivre les efforts pour réduire davantage la pollution diffuse. Une meilleure connaissance des mesures prises à l'échelle du bassin versant afin de réduire la pollution diffuse aiderait à comprendre davantage leur effet sur la qualité de l'eau.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	1
1 MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	2
1.1 Bassins versants étudiés	2
1.2 Échantillonnage et analyses d'eau	2
1.3 Méthodes statistiques	3
2 RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	6
2.1 Tendances des données non ajustées en fonction du débit de 1999 à 2008	6
2.1.1 Phosphore	6
2.1.2 Azote	7
2.1.3 Matières en suspension et turbidité	10
2.1.4 Coliformes fécaux	11
2.1.5 Dépassement des critères de qualité de l'eau et des valeurs repères (période 2006-2008)	12
2.2 Tendances des données ajustées en fonction du débit de 1999 à 2008	15
2.2.1 Phosphore	15
2.2.2 Azote	17
2.2.3 Matières en suspension et turbidité	18
2.2.4 Coliformes fécaux	18
2.2.5 Effet de l'ajustement en fonction du débit	19
2.2.6 Effet des baisses de phosphore sur la chlorophylle a	19
CONCLUSION.....	20
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	20

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Description des dix stations.....	3
Tableau 2	Tendances des données non ajustées en fonction du débit de 1999 à 2008.....	6
Tableau 3	Tendances des données ajustées en fonction du débit de 1999 à 2008.....	15

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Les bassins versants et les stations de qualité de l'eau	4
Figure 2	Tendances des concentrations de phosphore total.....	7
Figure 3	Tendances des concentrations d'azote ammoniacal.....	8
Figure 4	Tendances des concentrations de nitrates et nitrites	9
Figure 5	Tendances des concentrations d'azote total filtré	9
Figure 6	Tendances des concentrations de matières en suspension.....	10
Figure 7	Tendances des valeurs de turbidité.....	11
Figure 8	Tendances des concentrations de coliformes fécaux dans dix rivières	12
Figure 9	Dépassement des critères de qualité de l'eau.....	13
Figure 10	Dépassement des valeurs repères	14
Figure 11	Relation entre la baisse de P total en rivière et la baisse estimée des apports de P dans les bassins versants au cours de la période s'étendant de 1999 à 2008.....	16

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Cultures et élevages dans les bassins versants en 2001 et 2006	23
Annexe 2	Informations sur les débits.....	24
Annexe 3	Évolution des sources humaines de contamination	25
Annexe 4	Tests statistiques utilisés pour les analyses de tendance	28
Annexe 5	Variation des données ajustées en fonction du débit de 1999 à 2008 et valeur estimée à la fin de la période.....	29
Annexe 6	Baisse des concentrations de phosphore en rivière et des apports de phosphore dans les bassins versants.....	30
Annexe 7	Références bibliographiques des annexes.....	31

INTRODUCTION

Au Québec, des efforts ont été consentis au cours des 30 dernières années pour réduire la pollution des rivières. La législation et les programmes de dépollution visaient initialement les sources ponctuelles municipales et industrielles ainsi que l'amélioration de l'entreposage des fumiers, mais n'ont que partiellement réussi à corriger les problèmes de qualité de l'eau (Gangbazo et Painchaud, 1999). Dans plusieurs bassins versants, la pollution diffuse, surtout agricole, a été identifiée comme la principale source de phosphore (P) et d'azote (N) dans plusieurs rivières dépassant les critères de qualité de l'eau (Gangbazo et Babin, 2000; Gangbazo et autres, 2005).

Au cours des 15 dernières années, de nouveaux règlements sur la pollution agricole, appuyés par des programmes d'aide financière (Boutin, 2004; Programme Prime-Vert, 2009), ont ciblé le contrôle des sources diffuses de phosphore. Le Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole (RRPOA) (GOQ, 1997) a introduit une norme progressive concernant le P ainsi que l'obligation, pour la majorité des exploitations agricoles, de se doter de plans agroenvironnementaux de fertilisation (PAEF) et de tenir un registre d'épandage. Il a aussi interdit l'épandage de déjections animales et d'engrais minéraux en dehors de la période s'étendant du 1^{er} avril au 30 septembre. Les PAEF, basés sur un équilibre entre les besoins des cultures et les apports d'éléments nutritifs de toutes sources, doivent prendre en compte la richesse des sols en P et déterminer des mesures pour réduire cet élément dans les sols trop riches. La modernisation du RRPOA en 2002 (Règlement sur les exploitations agricoles [RLRQ, chapitre Q-2, r.26]) a permis d'intensifier les mesures de contrôle. Des mesures supplémentaires ont été introduites, comme la récupération des eaux usées de laiteries de ferme, la restriction de l'accès des animaux aux cours d'eau à partir de 2005 et l'obligation d'épandre les lisiers à l'aide d'une rampe basse (MDDEFP, 2013).

Selon une étude effectuée en 2008 par les Consultants BPR inc., ces mesures ont contribué à réduire, à l'échelle du Québec, le bilan de P (différence entre les apports d'éléments nutritifs de toutes sources et le prélèvement par les cultures), ce dernier passant de 14,4 kg P/ha en 1998 à 8,3 kg P/ha en 2007. Malgré une augmentation de 6 % des unités animales, l'amélioration de l'alimentation des animaux (par l'utilisation généralisée de la phytase) et la baisse de 32 % dans l'application d'engrais minéraux phosphatés ont contribué à améliorer le bilan de P. Le bilan de l'azote et la vente d'engrais minéraux azotés au Québec sont toutefois demeurés relativement stables au cours de cette période. L'épandage de déjections animales après la récolte d'automne a également diminué, passant de 46 % à 34 % du volume de fumier pour les cultures annuelles et de 69 % à 24 % du volume de fumier pour les prairies. Le volume des lisiers épandus à l'aide d'une rampe est passé de 17 % à 71 %. Certaines améliorations ont également eu lieu pour les sources ponctuelles, comme l'augmentation de 66 % à 74 % des unités animales avec entreposage étanche des déjections animales et la diminution des eaux de laiterie non traitées de 58 % à 33 % des unités animales de vaches (BPR, 2008).

Les tendances de la qualité de l'eau de surface pour le phosphore, l'azote, les matières en suspension (MES), la turbidité et les coliformes fécaux (CF) ont fait l'objet de deux analyses portant sur la période s'étendant de 1999 à 2008, dans dix bassins versants agricoles où les rejets d'eaux usées municipales sont demeurés stables ou absents. La première analyse (Patoine et autres, 2011) porte sur les données non ajustées en fonction du débit et la seconde sur les données ajustées pour enlever l'effet des variations de débit (Patoine et autres, 2012). Le présent rapport vise à présenter les résultats de ces analyses de tendances et de l'information complémentaire pour mieux comprendre l'effet des efforts d'assainissement consentis durant la même période.

1 MATÉRIEL ET MÉTHODE

1.1 Bassins versants étudiés

Les dix stations d'échantillonnage sélectionnées sont situées dans la région naturelle des basses-terres du Saint-Laurent ou des Appalaches et font partie du bassin versant primaire des rivières du Loup, Boyer, Chaudière, Yamaska, Richelieu ou L'Assomption (tableau 1, figure 1). La superficie des bassins versants drainée à ces stations est de l'ordre de 20 à 600 km². La qualité de l'eau y est notamment affectée en raison des activités agricoles (annexe 1), les sources diffuses étant à l'origine de plus de la moitié des apports de phosphore et d'azote. Deux de ces rivières présentent un intérêt pour la reproduction de l'éperlan arc-en-ciel, soit la rivière Fouquette (frayère active) et la rivière Boyer (frayère désertée). Pour chaque station, la plus proche station de débit a été utilisée pour ajuster les données de qualité de l'eau. Le tableau A2 (annexe 2) compare les superficies des bassins versants drainées aux stations de débit et de qualité de l'eau et présente les tendances des débits pour la période allant de 1999 à 2008.

L'annexe 3 présente des données sur l'évolution des sources humaines de contamination pour la période s'étendant de 1999 à 2008. La population des dix bassins versants est demeurée relativement stable au cours de cette période. Elle a augmenté de près de sept habitants par kilomètre carré dans celui de la rivière des Hurons (station 7) et de moins de deux habitants par kilomètre carré dans les neuf autres bassins versants (figure A3.1). Cinq des dix bassins versants ont reçu des rejets d'eaux usées municipales dont le traitement n'a pas fait l'objet de changement au cours de la période s'étendant de 1999 à 2008. Les rejets de phosphore et de matières en suspension mesurés à l'effluent des stations d'épuration municipales sont demeurés relativement stables (figures A3.2 et A3.3), même si une baisse plus importante a été observée dans le bassin versant de la rivière des Hurons dans le cas du phosphore.

La stabilité des sources ponctuelles de contamination d'origine humaine dans les dix bassins versants retenus permet d'étudier l'évolution de la qualité de l'eau en lien avec les actions réalisées pour contrôler les sources diffuses de pollution. Ces sources diffuses proviennent essentiellement des activités agricoles mais peuvent aussi provenir des résidences isolées (non desservies par un ouvrage municipal d'assainissement). L'information disponible (figure A3.4 et tableau A3) laisse supposer que la mise aux normes des installations septiques des résidences isolées a été plus importante dans le bassin versant de la rivière Boyer Nord. La prise en charge de la vidange des installations septiques par la Municipalité régionale de comté (MRC) de Bellechasse dès 2002 a vraisemblablement contribué à cette amélioration.

1.2 Échantillonnage et analyses d'eau

Les données provenant de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique (BQMA) du ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (MDDEFP) ont été utilisées (MDDEP, 2010). Les échantillons ont été prélevés mensuellement ou aux deux semaines et ont été analysés avec les méthodes standard (CEAEQ, 2010) par le Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Pour les bassins versants numéros 2 à 5, 9 et 10, la filtration des échantillons s'est faite sur 0,45 µm pour les formes de N (méthodes MA 303 – N tot 1.0, MA 303 – N 1.0, MA 303 – NO3 1.0), les matières en suspension (MA 104 – SS 1.1) et le P dissous (303 MA – P 3.0). Le P total a été analysé après une digestion au persulfate (MA 303 – P 5,0) et le P particulaire a été obtenu par la différence entre le P total et le P dissous. Pour les bassins versants numéros 1, 6, 7 et 8, un filtre de 1,2 µm a été utilisé et le P total a été obtenu par la somme des formes particulières et dissoutes analysées séparément (303 MA – P 3.0). La turbidité, les coliformes fécaux et la chlorophylle *a* ont été analysés en utilisant les mêmes méthodes (MA 103 – Tur. 1.0, MA 700 – Fec.Ec 1.0 et MA 800– Chlor. 1.0) dans tous les bassins versants.

Tableau 1 Description des dix stations

Bassin versant primaire	Station*	Numéro de BQMA**	Cours d'eau	Superficie du bassin versant*** (km ²)
Fouquette	1	02E90002	Rivière Fouquette	56
Boyer	2	02300003	Rivière Boyer Nord	36
Chaudière	3****	02340086	Rivière des Îles Brûlées	22
	4	02340099	Rivière Bras d'Henri	47
Yamaska	5	03030008	Ruisseau Runnels	98
	6****	03030038	Rivière Chibouet	163
Richelieu	7****	03040007	Rivière des Hurons	314
	8****	03040015	Rivière aux Brochets	596*****
L'Assomption	9****	05220239	Ruisseau Vacher	28
	10	05220241	Ruisseau Saint-Esprit	28

* Numéro de bassin versant (figure 1) drainé à la station de qualité de l'eau.

** Numéro de la Banque de données sur la qualité du milieu aquatique, Québec, MDDEFP, Direction du suivi de l'état de l'environnement.

*** Superficie du bassin versant à la station de qualité de l'eau.

**** Rejet d'eaux usées municipales dans le bassin versant.

***** La superficie au Canada est de 493 km² et celle aux États-Unis, de 103 km².

1.3 Méthodes statistiques

Les tendances des variables de qualité de l'eau pour la période allant de 1999 à 2008 ont été analysées à l'aide du logiciel SAS 9.1 (SAS Institute, 2003). L'hypothèse nulle (H_0) est qu'il n'y a pas de tendance significative dans la série ($p \geq 0,05$) alors que l'hypothèse alternative (H_1) est qu'il y a présence d'une tendance monotone.

La première analyse de tendance sur les données non ajustées en fonction du débit (Patoine et autres, 2011) a été réalisée sur les valeurs médianes mensuelles à l'aide de tests non paramétriques. Le nombre de données disponibles a varié, selon les paramètres, de 88 à 141 aux stations numéros 1, 6, 7 et 8, et de 137 à 333 aux six autres stations. Le test de Mann-Kendall a été retenu en l'absence de saisonnalité et d'autocorrélation alors que le test de Mann-Kendall saisonnier a été utilisé lorsque les données montraient une saisonnalité sans autocorrélation (Helsel et Hirsch, 2002; Gilbert, 1987). En présence d'autocorrélation, l'approche de Lettenmaier-Spearman (Lettenmaier, 1976) a été utilisée lorsqu'il n'y avait pas de saisonnalité. En présence de saisonnalité, l'approche de Hirsch et Slack (1984) a été utilisée et les données manquantes ont été remplacées par la valeur médiane mensuelle calculée sur toute la période. Toutefois, la présence de ces données pourrait nuire à la détection des tendances. L'approche statistique utilisée pour chaque paramètre et chaque station est présentée au tableau A4.1 (annexe 4).

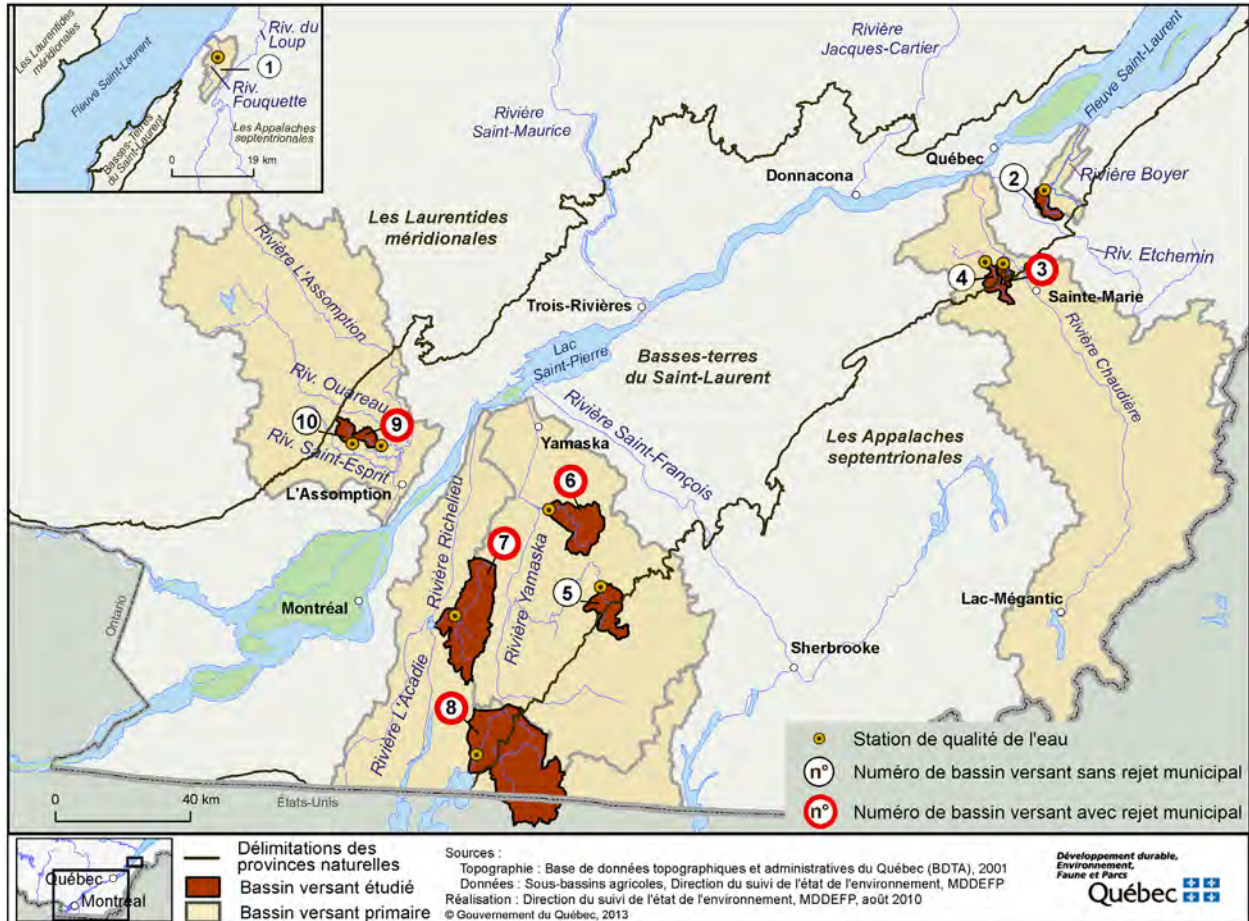


Figure 1 Les bassins versants et les stations de qualité de l'eau

Les droites illustrant les tendances dans les figures 2 à 8 ont été établies avec l'estimateur de la pente de Sen lorsque le test de Mann-Kendall était utilisé et avec l'estimateur de la pente selon le test de Kendall saisonnier dans les autres cas (Gilbert, 1987). Les droites de tendance ont été positionnées en utilisant la concentration médiane calculée à partir des données mensuelles médianes de l'ensemble de la période d'étude et la date médiane de cette période. Les critères de qualité de l'eau du MDDEP (2009) pour le phosphore total, l'azote ammoniacal, les nitrates et nitrites et les coliformes fécaux ont été indiqués à des fins de comparaison avec les valeurs estimées des droites de tendance en fin de période. Pour la période allant de 2006 à 2008, les fréquences de dépassement de ces critères et l'amplitude moyenne des dépassements ont aussi été déterminées, à l'aide des valeurs médianes mensuelles (figure 9). L'année complète a été retenue sauf pour le critère de CF pour les activités de contact primaire, qui se déroulent en période estivale. Dans le cas des MES et de la chlorophylle *a* totale, la valeur repère séparant les classes « satisfaisante » et « douteuse » de l'indice de qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau (Hébert, 1997) a été utilisée (figure 10). Pour l'azote total, une valeur repère de 1,0 mg/l considérée comme étant indicatrice d'une problématique de surfertilisation (Hébert et Légaré, 2000) a été utilisée (figure 10). Elle s'apparente à la valeur cible de 0,99 mg/l proposée par Chambers et autres (2008) pour protéger les petits bassins versants agricoles de l'eutrophisation et elle est légèrement supérieure au critère de 0,7 mg/l proposé par Smith et Tran (2010) pour les grandes rivières.

Pour la seconde analyse de tendance prenant en compte les débits (Patoine et autres, 2012), les corrélations entre le logarithme des données de qualité de l'eau et le logarithme du débit moyen le jour de l'échantillonnage ont d'abord été examinées avec le test paramétrique de Pearson, en utilisant toutes les

données de qualité de l'eau. Pour les tests de tendances, seule la première donnée de chaque mois a été utilisée et ajustée en fonction du débit dans le cas des paramètres présentant une corrélation significative avec celui-ci ($p < 0,1$). Selon la station et le paramètre, un nombre de données variant de 77 à 120 était disponible pour l'analyse des tendances. Après ajustement des données en fonction du débit à l'aide de la procédure LOESS de SAS, les mêmes tests non paramétriques que ceux utilisés lors de la première analyse de tendances ont été utilisés lorsque moins de 5 % des données de qualité de l'eau étaient censurées (sous la limite de détection de la méthode d'analyse). Les tests de tendances non paramétriques ont aussi été utilisés lorsque les données de qualité de l'eau n'étaient pas corrélées avec le débit.

Des tests paramétriques ont été utilisés lorsque les données de qualité de l'eau étaient corrélées au débit et que 5 % ou plus des données étaient censurées. Dans ce cas, un modèle de régression Tobit (SAS) avec le temps, la saison et le débit a été utilisé, sauf pour le P total obtenu par la somme des formes particulaire et dissoute. Dans ce dernier cas, la procédure LIFEREG (SAS) qui prend en charge ce type de données partiellement censurées a été utilisée. Les données de qualité de l'eau et de débit ont subi une transformation logarithmique pour assurer leur normalité. L'approche statistique utilisée pour cette seconde analyse de tendances est présentée par paramètre et par station au tableau A4.2 (annexe 4).

Dans la seconde analyse, l'utilisation de la première donnée du mois pour les tests de tendance a permis d'avoir la même précision pour toutes les données médianes mensuelles et, par conséquent, de respecter davantage le postulat statistique d'homogénéité de la variance. Ce choix a toutefois eu pour effet de réduire la puissance des tests de tendance et la précision du calcul des pentes des tendances.

2 RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1 Tendances des données non ajustées en fonction du débit de 1999 à 2008

L'analyse réalisée à l'aide des données non ajustées pour enlever l'effet du débit (Patoine et autres, 2011) a permis de faire ressortir des tendances globales résultant des facteurs naturels et humains et de comparer les valeurs estimées en fin de période aux critères de qualité de l'eau pour les écosystèmes aquatiques et les usages. Les résultats de l'analyse des tendances des données non ajustées montrent une réduction significative (par rapport au seuil de 5 %) des concentrations pour le P total dans sept rivières, pour l'azote ammoniacal dans cinq rivières, pour les nitrates et nitrites dans trois rivières, pour l'azote total dans deux rivières et pour les CF dans une rivière. Cependant, ils montrent une augmentation significative de la turbidité dans neuf rivières et des concentrations de MES dans deux rivières (tableau 2). Les figures 2 à 8 montrent les droites de tendance pour la période allant de 1999 à 2008 et la valeur des critères de qualité de l'eau du MDDEP (2009). La figure 9 montre le dépassement des critères pour le phosphore, l'azote ammoniacal, les nitrates et nitrites et les coliformes fécaux pour la période allant de 2006 à 2008, alors que la figure 10 illustre les dépassements de valeurs repères pour l'azote total, les MES et la chlorophylle *a*.

Tableau 2 Tendances des données non ajustées en fonction du débit de 1999 à 2008

Station*	P total	Azote ammoniacal	Nitrates et nitrites	Azote total	MES	Turbidité	CF
Fouquette (1)	▼	▼	—	—	—	▲	—
Boyer Nord (2)	▼	▼	—	—	—	▲	—
Iles Brûlées (3)	▼	▼	▼	▼	—	▲	—
Bras d'Henri (4)	▼	—	▼	▼	—	▲	▼
Runnels (5)	—	—	—	—	—	▲	—
Chibouet (6)	▼	—	—	—	▲	▲	—
Des Hurons (7)	▼	—	—	—	▲	▲	—
Aux Brochets (8)	—	—	—	—	—	▲	—
Vacher (9)	▼	▼	▼	—	—	—	—
Saint-Esprit (10)	—	▼	—	—	—	▲	—

Les symboles indiquent une baisse (▼), une hausse (▲) ou aucune tendance significative par rapport au seuil de 5 % (—).

* Nom du cours d'eau et numéro du bassin versant (figure 1) drainé à la station de qualité de l'eau.

2.1.1 Phosphore

Les résultats de l'analyse des tendances effectuée sur les concentrations de P total sont illustrés à la figure 2. La baisse significative de P dans sept rivières laisse supposer que les efforts pour réduire la pollution par le P ont été efficaces. Toutefois, la concentration estimée à la fin de la période demeure de deux à cinq fois supérieure au critère de 0,03 mg/l établi pour prévenir l'eutrophisation des cours d'eau (MDDEP, 2009) dans cinq des rivières présentant une tendance à la baisse et dans deux rivières sans

tendance. Ces résultats montrent la nécessité de poursuivre les efforts pour réduire davantage la pollution par le phosphore.

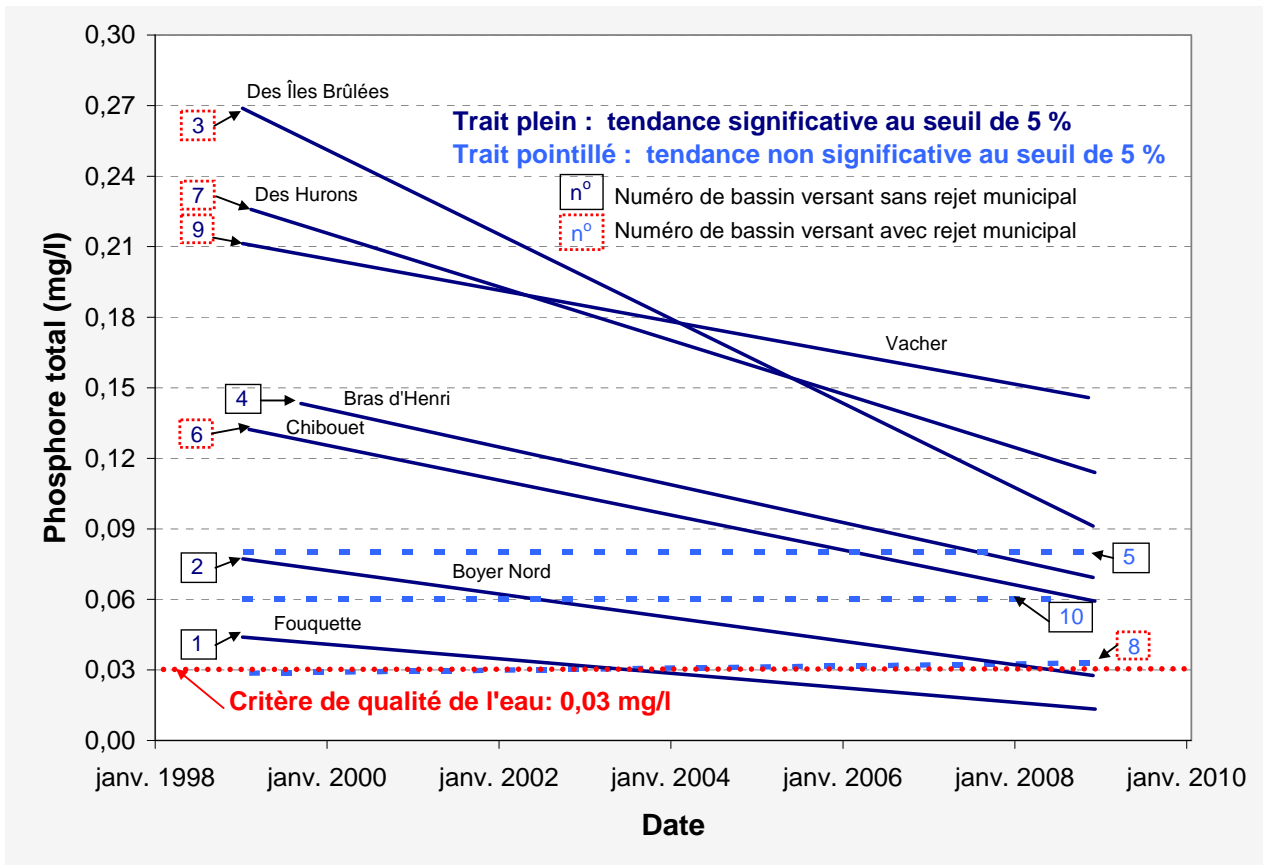


Figure 2 Tendances des concentrations de phosphore total

2.1.2 Azote

Azote ammoniacal

Les résultats de l'analyse des tendances effectuée sur les concentrations d'azote ammoniacal sont illustrés à la figure 3. La moitié des rivières étudiées montrent une tendance à la baisse. Pour la rivière des Hurons, la concentration d'azote ammoniacal estimée à la fin de la période demeure supérieure au critère de 0,2 mg/l N établi pour assurer une désinfection efficace de l'eau brute d'approvisionnement (MDDEP, 2009). Cependant, il n'y a pas de prise d'eau potable dans ces cours d'eau. Ces résultats laissent supposer que les efforts pour réduire la pollution diffuse au cours de cette décennie, comme la réduction de l'épandage à l'automne, ont eu un effet positif pour diminuer les concentrations d'azote ammoniacal dans plusieurs bassins versants.

Nitrates et nitrites

Les résultats de l'analyse des tendances effectuée sur les concentrations de nitrates et nitrites sont illustrés à la figure 4. Malgré les baisses observées pour trois des rivières étudiées, dans l'une d'entre elles, la rivière des Îles Brûlées, la concentration de nitrates et nitrites estimée à la fin de la période demeure supérieure au critère de 2,9 mg/l N établi pour la protection de la vie aquatique (effet chronique) (MDDEP, 2009). Ces résultats laissent supposer que les efforts visant à réduire la pollution diffuse ont eu un effet positif pour réduire les concentrations de nitrates et nitrites dans certains bassins versants.

Azote total filtré

Les résultats de l'analyse des tendances effectuée sur les concentrations d'azote total filtré sont illustrés à la figure 5. La baisse observée dans deux des rivières étudiées laisse supposer que les efforts visant à réduire la pollution diffuse ont eu un effet positif pour abaisser les concentrations d'azote total filtré dans certains bassins versants. Toutefois, les concentrations estimées en fin de période qui sont supérieures à la valeur repère de 1 mg/l dans les dix cours d'eau sont indicatrices d'un milieu affecté par les activités humaines.

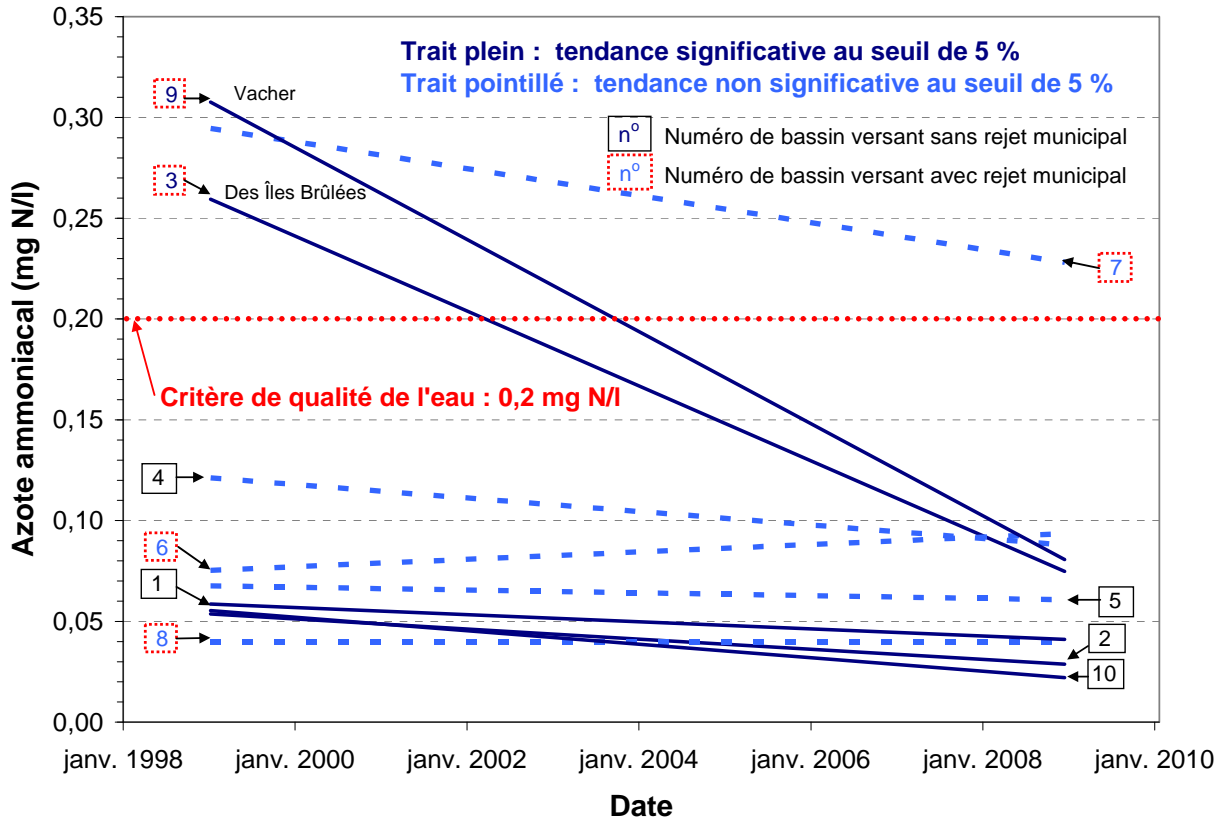


Figure 3 Tendances des concentrations d'azote ammoniacal

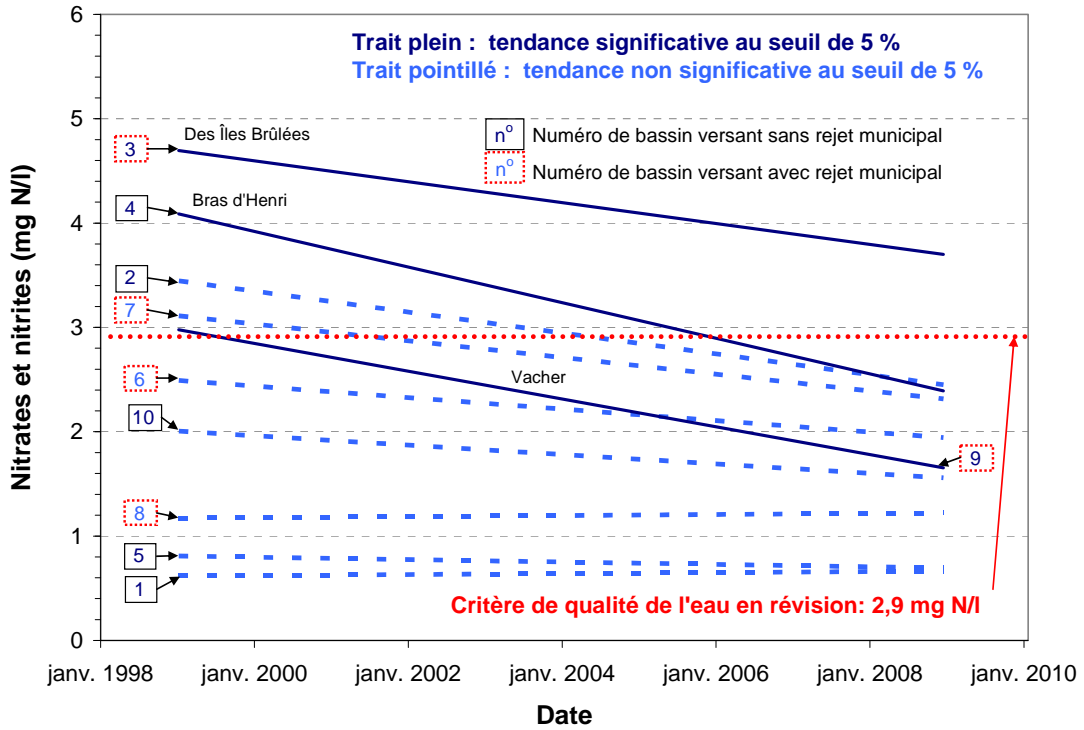


Figure 4 Tendances des concentrations de nitrates et nitrites

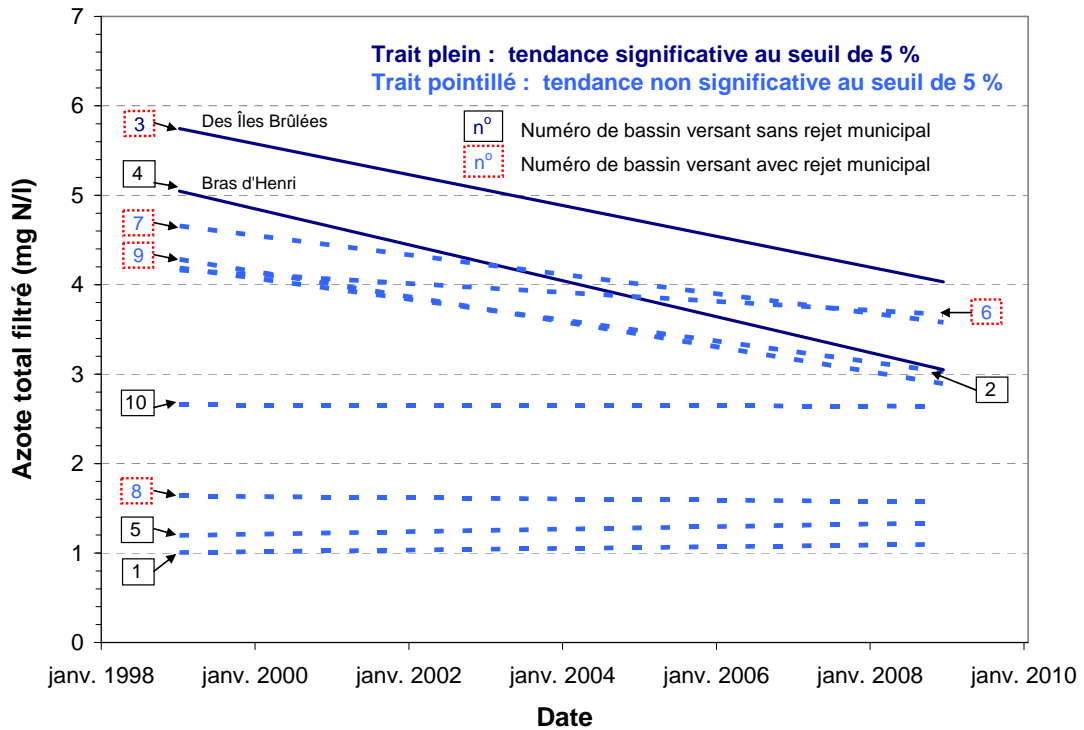


Figure 5 Tendances des concentrations d'azote total filtré

2.1.3 Matières en suspension et turbidité

Matières en suspension

Les résultats de l'analyse des tendances effectuée sur les concentrations de matières en suspension sont illustrés à la figure 6. Les hausses de MES observées dans deux des rivières étudiées et l'absence de changement dans les autres laissent supposer que les mesures visant à réduire la pollution diffuse dans les bassins versants étudiés n'ont pas été efficaces pour réduire les MES dans ces rivières.

Certaines actions de conservation des sols, comme l'augmentation des superficies cultivées sans labour, qui sont passées de 36 % à 48 % des cultures annuelles au Québec de 1998 à 2007 (BPR, 2008), auraient dû contribuer à réduire la turbidité et les concentrations de MES dans certaines des rivières étudiées. Cependant, d'autres facteurs comme la proportion des cultures annuelles, qui a augmenté de 8 % au cours de la même période (BPR, 2008), pourraient avoir eu un effet inverse. Les facteurs hydrologiques doivent aussi être considérés. Néanmoins, les résultats laissent supposer le besoin de déployer plus d'efforts pour réduire ce type de pollution.

Turbidité

Les résultats de l'analyse des tendances effectuée sur les mesures de turbidité sont illustrés à la figure 7. La hausse de turbidité observée dans huit des rivières étudiées laisse supposer que les mesures visant à réduire la pollution diffuse dans les bassins versants étudiés n'ont pas été efficaces pour y réduire la turbidité.

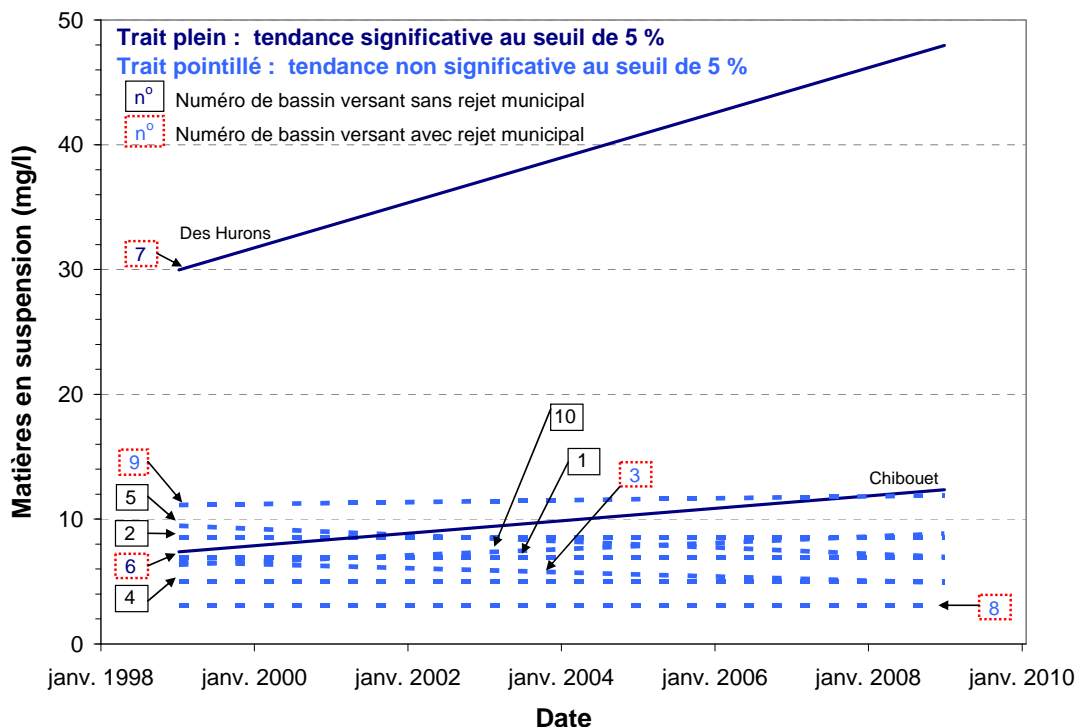


Figure 6 Tendances des concentrations de matières en suspension

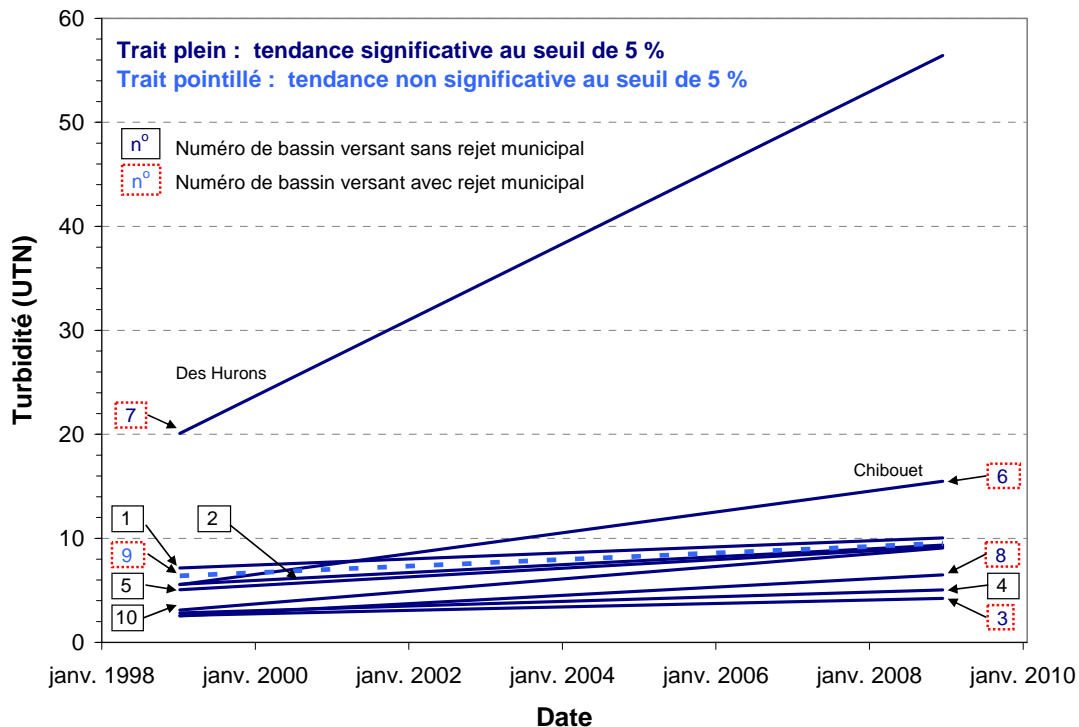


Figure 7 Tendances des valeurs de turbidité

2.1.4 Coliformes fécaux

Les résultats de l'analyse des tendances effectuée sur les concentrations de coliformes fécaux sont illustrés à la figure 8. Malgré la baisse significative de CF observée dans la rivière Bras d'Henri (station 4), les concentrations estimées à la fin de la période dans sept bassins versants demeurent supérieures au critère de 200 UFC/100 ml pour la protection des activités récréatives de contact direct, comme la baignade (MDDEP, 2009). Toutefois, il faut souligner que les activités de contact direct avec l'eau ne figuraient pas parmi les usages de l'eau à récupérer lors de la mise en oeuvre des programmes de réduction de la pollution du Québec dans ces bassins versants agricoles. Dans la rivière des Hurons, plus de la moitié des concentrations de CF sont supérieures au critère de 1 000 UFC/100 ml établi pour les activités de contact indirect (MDDEP, 2009). La qualité bactériologique de l'eau de cette rivière peut notamment s'expliquer par l'absence de désinfection des eaux usées municipales traitées dans les fossés d'oxydation de Marieville et de Saint-Jean-Baptiste, par la gravité des étiages et par le nombre élevé de débordements des ouvrages de surverse municipaux.

Ces résultats laissent supposer qu'au cours de la période allant de 1999 à 2008, les mesures visant à réduire la pollution diffuse, orientées principalement sur la pollution par le P, ont eu un effet limité sur les concentrations de CF et que des efforts sont encore nécessaires pour réduire davantage la pollution bactériologique. Le traitement des déjections animales, le contrôle de l'accès du bétail aux cours d'eau et l'utilisation de méthodes d'épandage adéquates sont des mesures qui pourraient avoir un effet sur les concentrations de CF dans les cours d'eau.

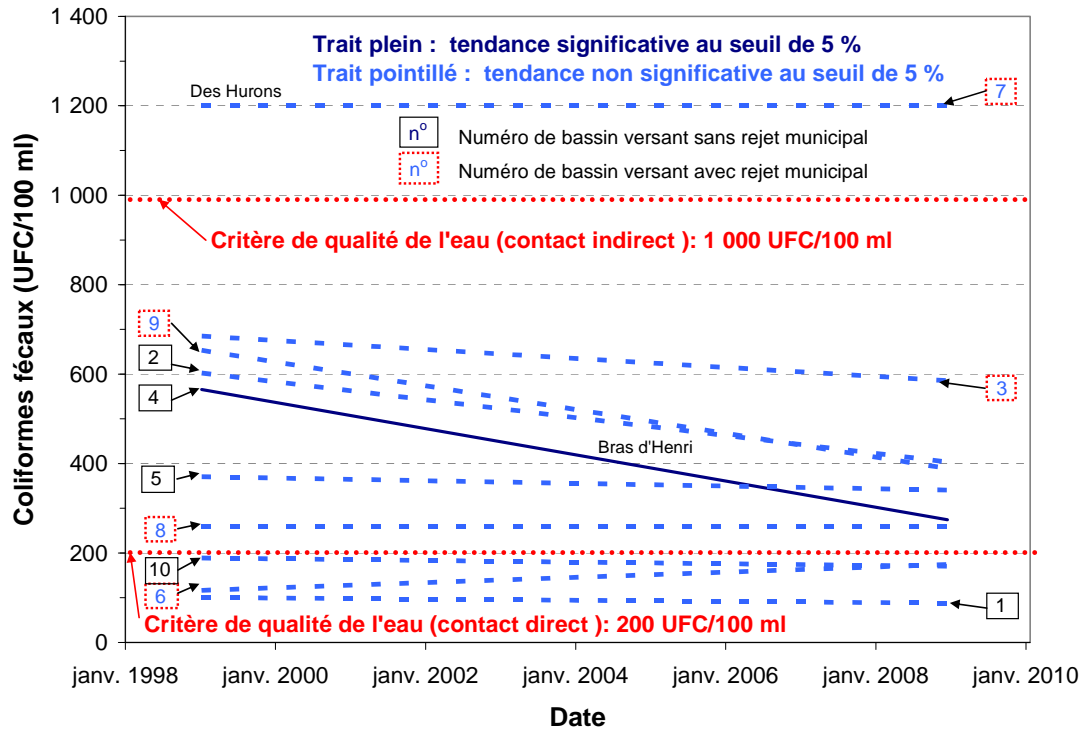
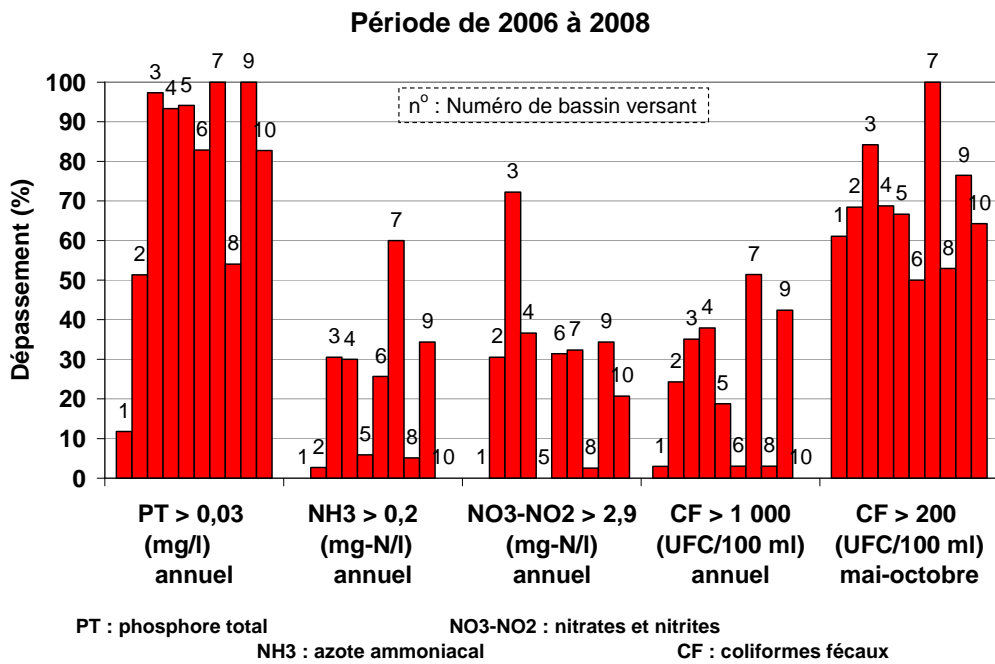


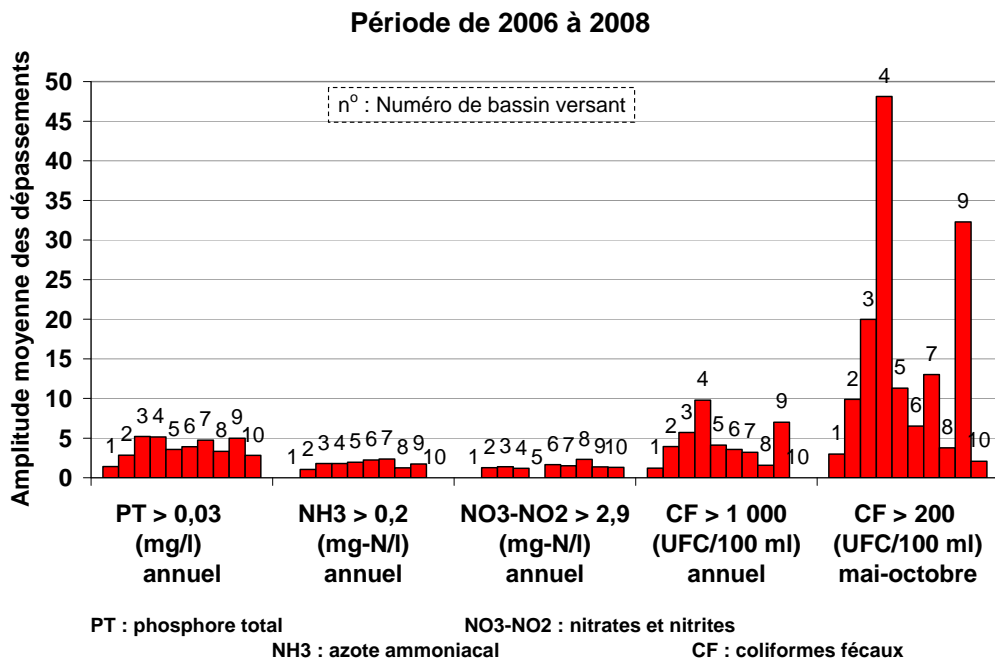
Figure 8 Tendances des concentrations de coliformes fécaux dans dix rivières

2.1.5 Dépassement des critères de qualité de l'eau et des valeurs repères (période 2006-2008)

L'analyse des tendances effectuée sur les données non ajustées en fonction du débit montre une amélioration de la qualité de l'eau à plusieurs stations. Toutefois, les valeurs estimées à la fin de la période (figures 2 à 8) montrent que cette amélioration ne permet pas encore de respecter pleinement les critères de qualité de l'eau pour l'ensemble des usages. Le pourcentage et l'amplitude des dépassements des critères de qualité de l'eau pour le phosphore, l'azote (ammoniacal et nitrates-nitrites) et les coliformes fécaux aux dix stations au cours de la période allant de 2006 à 2008 (figure 9) confirment ce constat. Par ailleurs, les valeurs repères pour l'azote total, les MES et la chlorophylle a totale sont fréquemment dépassées au cours de la même période (figure 10).

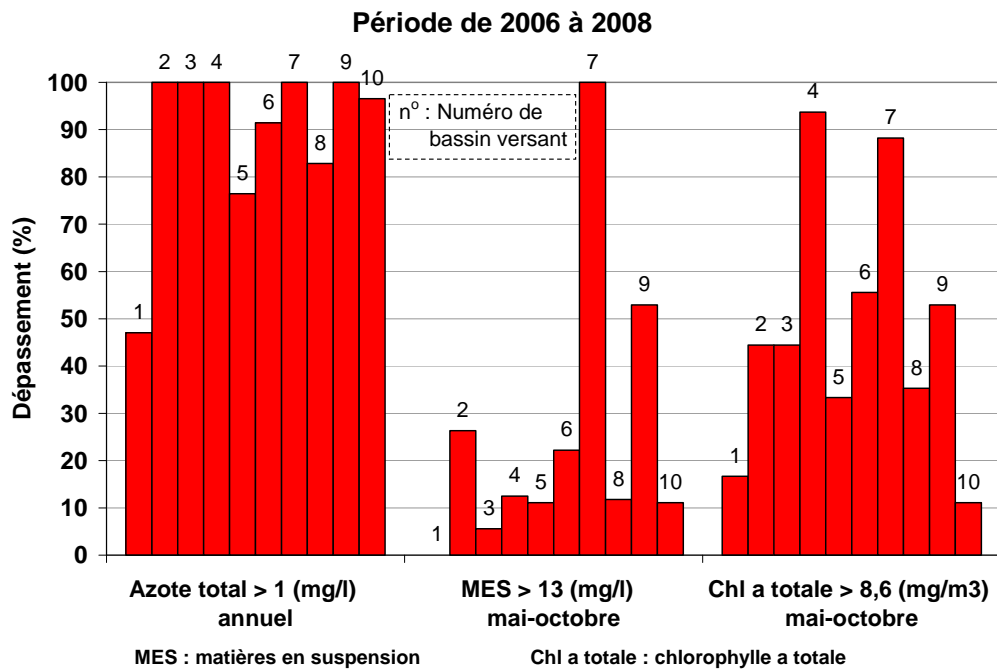


a) Fréquence de dépassement des critères de qualité de l'eau

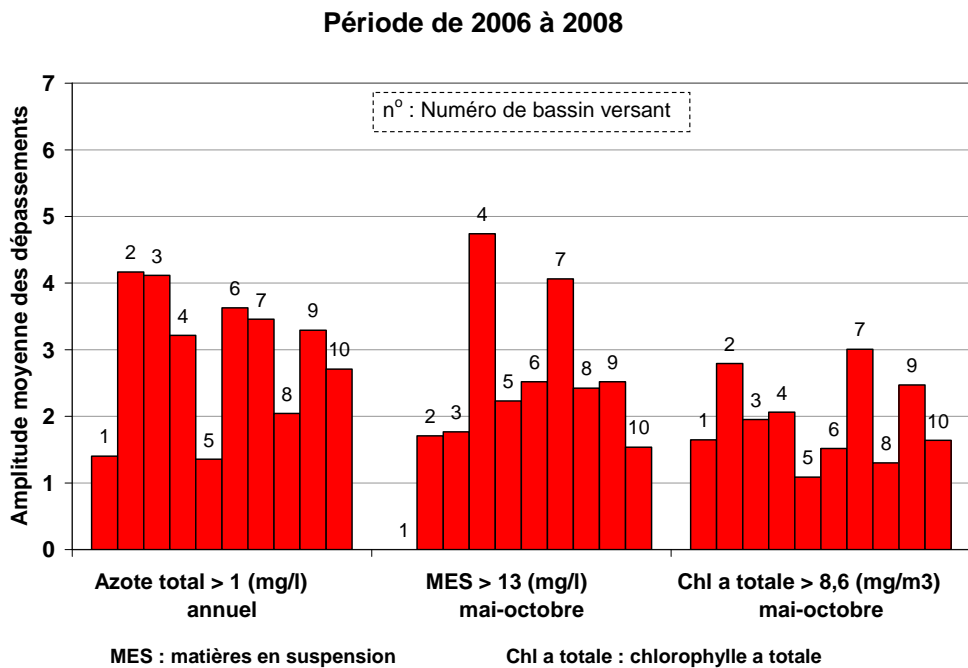


b) Amplitude moyenne des dépassements des critères de qualité de l'eau

Figure 9 Dépassement des critères de qualité de l'eau



a) Fréquence de dépassement des valeurs repères



b) Amplitude moyenne des dépassements des valeurs repères

Figure 10 Dépassement des valeurs repères

2.2 Tendances des données ajustées en fonction du débit de 1999 à 2008

La seconde analyse de tendances réalisée à l'aide des données de qualité de l'eau ajustées pour enlever l'effet du débit (Patoine et autres, 2012) a permis de faire ressortir les tendances causées par les interventions humaines comme l'implantation de bonnes pratiques liée notamment aux règlements et aux programmes agricoles.

Les résultats de l'analyse des tendances des données ajustées en fonction du débit (tableau 3) montrent une baisse significative (par rapport au seuil de 5 %) des concentrations du P total dans huit rivières, de l'azote ammoniacal dans cinq rivières, des nitrates et nitrites dans quatre rivières, de l'azote total dans trois rivières et des MES dans deux rivières. Cependant, une augmentation de la turbidité a été observée dans quatre rivières et aucune rivière n'a montré de changement significatif en ce qui concerne les coliformes fécaux. L'annexe 5 indique le pourcentage de baisse ou de hausse des données de qualité de l'eau ajustées présentant des tendances significatives ainsi que la valeur estimée à la fin de la période.

Tableau 3 Tendances des données ajustées en fonction du débit de 1999 à 2008

Station*	P total	Azote ammoniacal	Nitrates et nitrites	Azote total	MES	Turbidité	CF
Fouquette (1)	▼	—	—	—	—	▲	—
Boyer Nord (2)	▼	▼	—	—	—	—	—
Iles Brûlées (3)	▼	▼	▼	▼	▼	—	—
Bras d'Henri (4)	▼	▼	▼	▼	—	—	—
Runnels (5)	—	—	—	—	▼	—	—
Chibouet (6)	▼	—	—	—	—	▲	—
Des Hurons (7)	▼	—	▼	—	—	▲	—
Aux Brochets (8)	▼	—	—	—	—	—	—
Vacher (9)	▼	▼	▼	▼	—	—	—
Saint-Esprit (10)	—	▼	—	—	—	▲	—

Les symboles indiquent une baisse (▼), une hausse (▲) ou aucune tendance significative par rapport au seuil de 5 % (—).

* Nom du cours d'eau et numéro du bassin versant (figure 1) drainé à la station de qualité de l'eau.

Note : Seules les concentrations présentant une corrélation significative avec le débit par rapport au seuil de probabilité de 10 % ($p < 0,1$) ont été ajustées en fonction du débit pour l'analyse des tendances.

2.2.1 Phosphore

La diminution des concentrations ajustées de P total (de 33 % à 67 %) dans huit rivières au cours de la période allant de 1999 à 2008 laisse supposer que les efforts visant à réduire la pollution par le P ont été efficaces. De plus, les tendances pour le P total se sont produites essentiellement sur le P dissous, à l'exception du bassin versant de la rivière aux Brochets (station 8) où une tendance significative à la baisse a également été observée pour le P particulaire (annexe 5). Ces résultats renforcent l'idée que la diminution de l'utilisation du P minéral dans les moulées animales et les engrais minéraux dans les bassins versants a contribué de façon importante à la diminution du P observée dans les rivières. Dans le bassin versant de la rivière aux Brochets, des mesures de contrôle de l'érosion, non documentées dans la présente étude, pourraient aussi avoir joué un rôle important.

Les restrictions sur l'épandage du P, imposées par la réglementation depuis 1997, ont favorisé une utilisation optimale du P minéral dans les moulées animales et les champs cultivés. À l'échelle provinciale, l'utilisation de la phytase pour réduire le P dans les moulées a augmenté de manière significative au cours de la période s'étendant de 1998 à 2003, passant de 27 % à 90 % des unités animales dans le secteur porcin et de 3 % à 54 % des unités animales pour le secteur de la volaille, et est demeurée stable par la suite (BPR, 2008). Une diminution de 32 % dans l'utilisation des engrais minéraux phosphatés a également été observée de 1999 à 2008 (données de l'Association des fabricants d'engrais du Québec [AFEQ] pour les années 1999 et 2008).

Une estimation de la baisse des apports agricoles de P dans les dix bassins versants, attribuable à l'utilisation de la phytase dans les moulées porcines et de volailles et à la diminution des apports de phosphore des engrais chimiques, a été faite par Patoine et autres (2012). La précision de cette estimation a été améliorée (annexe 6). Elle contribue à expliquer la baisse du phosphore en rivière, qui a varié de 0 à 17,5 µg/l par année selon les stations (tableau A6). En effet, la figure 11 montre que cette baisse des apports de P associée à l'utilisation de la phytase dans les bassins versants étudiés est corrélée avec la diminution du P total en rivière. L'effet combiné des mesures de réduction des apports de P (phytase dans les moulées et engrais chimiques) montre l'efficacité de l'utilisation optimale du P minéral pour réduire le P total des rivières.

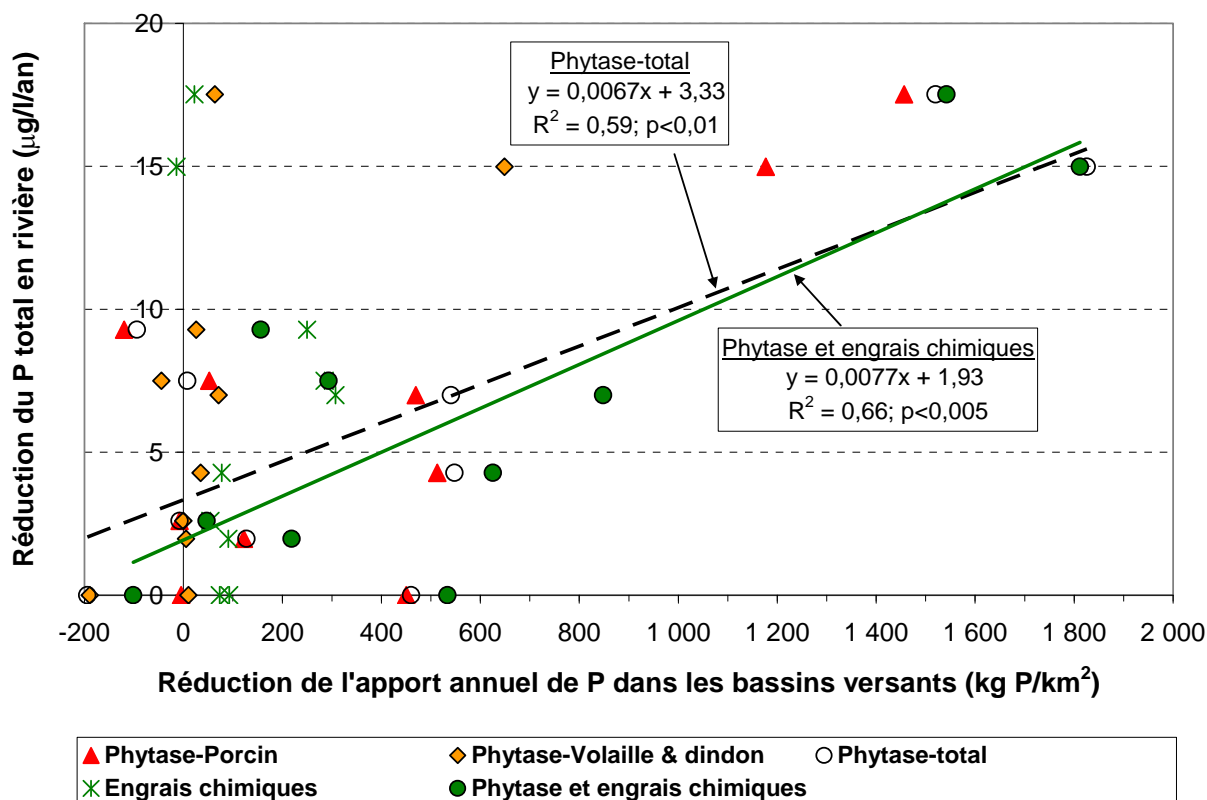


Figure 11 Relation entre la baisse de P total en rivière et la baisse estimée des apports de P dans les bassins versants au cours de la période s'étendant de 1999 à 2008

D'autres améliorations des pratiques agricoles telles que l'entreposage des déjections animales, le traitement des eaux de laiteries de ferme, la restriction de l'accès du bétail aux cours d'eau, l'épandage des lisiers à l'aide d'une rampe et la diminution de l'épandage à l'automne, rapportées à l'échelle régionale (BPR, 2008), mais non à l'échelle des bassins versants étudiés, pourraient avoir contribué à la diminution du P total en rivière. L'amélioration de la conformité des installations septiques des résidences

isolées pourrait aussi avoir contribué à cette diminution du P, de même que la baisse des rejets de P des stations d'épuration des municipalités de Marieville et Saint-Jean-Baptiste dans la rivière des Hurons.

Les résultats de la présente étude sont partiellement cohérents avec les résultats des études à court terme de bassins versants pairés sur les effets des pratiques de gestion bénéfiques (PGB) au Québec. Baril et autres (1998) n'ont pas trouvé de changement significatif dans la concentration du P dans les cours d'eau après la mise en œuvre de plans de fertilisation. Enright et autres (1999) n'ont pas observé de baisse du P au cours d'eau consécutive à la réduction des apports de P dans le bassin versant d'intervention, mais le P appliqué sur le bassin versant de contrôle n'était pas inventorié. Plus récemment, Michaud et autres (2009) ont mesuré une diminution du P au cours d'eau dans deux de leurs trois études de bassins versants pairés. L'une est survenue dans un bassin versant de contrôle où l'on observait une réduction du bilan de P. L'autre a été observée dans un bassin versant sans aucun changement dans le bilan de P, mais avec une augmentation importante des superficies sans labour. Enfin, AAC (2010) a observé une diminution des pertes de P par ruissellement pour deux des trois années d'étude avec des PGB pour contrôler les pertes d'azote provenant de l'application de lisier de porc sur des cultures de maïs et fourragères.

Une explication possible de l'absence de tendance à la baisse généralisée comme celles qui ont été observées dans la présente étude est la période plus courte des études de bassins pairés. Comme le rapportent Meals et Dressing (2010), le temps de réponse de la qualité de l'eau à la PGB pourrait être un facteur limitant important.

Malgré la diminution de P (valeurs ajustées en fonction du débit) observée dans la plupart des rivières étudiées, les concentrations estimées à la fin de la période demeurent au moins deux fois supérieures au critère de 0,03 mg/l établi pour prévenir l'eutrophisation (MDDEP, 2009) dans cinq des rivières présentant une tendance à la baisse et dans deux rivières sans tendance. Ces résultats confirment la nécessité de poursuivre les efforts pour réduire davantage la pollution associée au phosphore.

2.2.2 Azote

Des tendances à la baisse des concentrations ajustées en fonction du débit au cours de la période allant de 1999 à 2008 ont été observées dans cinq bassins versants pour l'azote ammoniacal (de 34 % à 69 %), dans quatre bassins versants pour les nitrates et nitrites (de 21 % à 43 %) et dans trois de ceux-ci pour l'azote total filtré (de 30 % à 38 %). Ces résultats laissent supposer que les efforts visant à réduire la pollution diffuse au cours de cette période, orientés principalement vers le phosphore, ont aussi eu un effet positif sur la pollution azotée dans un tiers à la moitié des bassins versants étudiés.

L'introduction des PAEF dans le règlement de 1997 peut avoir encouragé une fertilisation azotée équilibrée et une meilleure synchronisation des épandages avec les besoins des cultures. En effet, ces facteurs pourraient expliquer les améliorations dans certains bassins versants pour toutes les formes d'azote. La diminution des épandages de déjections animales à l'automne pourrait expliquer les améliorations observées en rivière dans le cas de l'azote ammoniacal. Gangbazo et autres (1997) ont en effet observé que, pour toutes les formes d'azote, les pertes dans les eaux de ruissellement et de drainage étaient liées à la quantité d'azote épandue au cours d'une saison sur les cultures, alors que les pertes d'azote ammoniacal étaient liées à l'épandage automnal seulement. Lorsqu'elles deviendront disponibles à l'échelle des bassins versants, les informations concernant les changements ayant eu lieu au cours de la période allant de 1999 à 2008 dans le bilan azoté et l'épandage à l'automne pourraient permettre de confirmer notre hypothèse.

Dans une étude de bassins pairés, Baril et autres (1998) ont mesuré une réduction des nitrates et nitrites dans un ruisseau drainant des terres où l'utilisation d'engrais minéraux azotés a diminué de moins de 10 %. Dans une autre étude où des plans de fertilisation ont été mis en œuvre, Enright et autres (1999) ont mesuré une diminution de l'azote ammoniacal et de l'azote total dans le ruisseau. Michaud et autres (2009) ont aussi mesuré une diminution des nitrates dans trois bassins versants et de l'azote ammoniacal dans l'un de ceux-ci. Les facteurs expliquant la diminution des nitrates impliquent une amélioration du

bilan azoté ou des facteurs hydrologiques. Dans le cas de l'azote ammoniacal, un épandage mieux synchronisé avec les besoins des cultures pourrait expliquer la baisse. Enfin, AAC (2010) a observé une diminution du ruissellement des nitrates pour deux des trois années de leur étude avec des PGB pour contrôler les pertes d'azote provenant de l'application de lisier de porc sur des champs de maïs et de fourrage.

Malgré une diminution de l'azote ammoniacal dans la moitié des rivières, la valeur estimée des données ajustées en fonction du débit à la fin de la période demeure supérieure au critère de 0,20 mg/l N établi pour une désinfection efficace de l'eau brute (MDDEP, 2009) dans la rivière des Hurons (station 7) (critère utilisé à titre indicatif puisqu'il n'existe pas de prise d'eau potable dans cette rivière). Dans le cas des nitrates et des nitrites, la valeur estimée à la fin de la période pour les données ajustées en fonction du débit demeure supérieure au critère établi pour la protection de la vie aquatique (effet chronique: 2,9 mg/l N) (MDDEP, 2009) dans la rivière des Îles Brûlées (station 3). En ce qui concerne l'azote total, la valeur ajustée en fonction du débit estimée à la fin de la période dépasse la valeur repère de 1,0 mg/l établie pour jauger l'enrichissement en azote des cours d'eau dans chaque rivière étudiée. Ces concentrations dénotent bien l'effet des activités agricoles sur le territoire des bassins versants.

2.2.3 Matières en suspension et turbidité

L'augmentation des valeurs de turbidité ajustées en fonction du débit dans quatre rivières, la diminution de celles des MES dans deux rivières et l'absence de changement dans les autres laissent supposer que les mesures visant à réduire la pollution diffuse, principalement orientées sur la fertilisation, ont eu des effets mitigés sur ces deux paramètres.

Les pratiques de conservation des sols, comme le semis direct qui est passé de 9 % à 25 % de la superficie des cultures annuelles pour la période allant de 2001 à 2006 (Statistique Canada, 2002, 2006) dans le bassin versant du ruisseau Runnels (station 5), peuvent expliquer la diminution des MES dans ce cas. Par contre, dans le bassin versant de la rivière des Îles Brûlées (station 3), la diminution des MES n'est pas expliquée par le semis direct, qui est demeuré stable à environ 5 % au cours de la période. L'augmentation de la turbidité dans quatre bassins versants n'est pas bien comprise, mais l'absence de tendance pour les MES laisse supposer un phénomène lié à des particules très fines ($< 0,45 \mu\text{m}$ ou $< 1,2 \mu\text{m}$, selon la station). Même si certaines mesures de conservation des sols comme le semis direct peuvent avoir contribué à réduire les concentrations de MES dans certaines rivières, d'autres facteurs, comme la proportion croissante des cultures annuelles, pourraient avoir eu l'effet inverse sur les MES et la turbidité. Malheureusement, le manque d'information sur l'ampleur des mesures de conservation des sols à l'échelle du bassin versant nous a empêchés de faire une analyse plus complète.

Dans une étude de bassins pairés avec une réduction de l'utilisation d'engrais minéraux comme PGB, Enright et autres (1999) n'ont pas montré de changement significatif dans les MES. Par contre, Michaud et autres (2009) ont mesuré une diminution significative des MES dans deux bassins versants où la superficie sans labour est passée de moins de 10 % à environ 50 % de la superficie des cultures annuelles. Dans l'un de ces bassins, plusieurs aménagements hydroagricoles ont également été ajoutés.

Les résultats obtenus dans la présente étude montrent la nécessité d'adopter des mesures supplémentaires pour réduire la pollution diffuse et de documenter l'ampleur et la progression des PGB à l'échelle du bassin versant.

2.2.4 Coliformes fécaux

L'absence de tendance significative dans les concentrations ajustées de coliformes fécaux pour les dix rivières laissent supposer que les mesures visant à réduire la pollution diffuse, orientées principalement sur la pollution par le P, n'ont pas été efficaces pour réduire la pollution microbienne.

L'accès contrôlé du bétail aux cours d'eau, qui a augmenté de 49 % à 81 % des unités animales au Québec de 1998 à 2007, et le traitement des déjections animales, adopté pour 2 % des unités animales (BPR, 2008), sont des exemples de mesures qui devraient être mises en œuvre à une plus grande échelle.

Au Québec, la seule étude de bassins versants pairés où les coliformes fécaux ont été mesurés (Baril et autres, 1998) n'a pas montré de changement significatif après la mise en œuvre de plans de fertilisation.

Dans le cas des coliformes fécaux (valeurs ajustées en fonction du débit), seule la station de la rivière des Hurons affiche une valeur estimée à la fin de la période qui demeure supérieure au critère de 1 000 UFC/100 ml établi pour la protection des activités récréatives de contact indirect, comme le canotage ou la pêche (MDDEP, 2009). Par contre, de 2006 à 2008, selon les rivières, une proportion de 3 % à 51 % des échantillons présentait encore des concentrations de coliformes fécaux supérieures à ce critère. Dans huit d'entre elles, l'amplitude moyenne des dépassements s'élevait de trois à près de dix fois ce critère (figure 9). Ces résultats montrent la nécessité de poursuivre les efforts visant à réduire davantage la pollution bactériologique.

2.2.5 Effet de l'ajustement en fonction du débit

Les paramètres qui présentent de fortes corrélations avec le débit à la plupart des stations, comme les MES et la turbidité, sont les plus susceptibles de produire des résultats de tendance différents après leur ajustement. En effet, la comparaison des résultats des deux analyses de tendances montre que l'ajustement en fonction du débit a fait disparaître les deux tendances à la hausse pour les MES et fait ressortir des tendances à la baisse à deux autres stations, en plus de faire passer de neuf à quatre celles qui présentent une tendance à la hausse pour la turbidité. L'ajustement a également permis de mettre en évidence une tendance à la baisse à une station de plus en ce qui concerne le P total, les nitrates et nitrites et l'azote total filtré. Ces résultats s'expliquent par une diminution de l'effet de la hausse des débits au cours de la période (annexe 2) et par la diminution de la variabilité des données une fois les concentrations ajustées en fonction du débit.

L'analyse réalisée à l'aide des concentrations ajustées en fonction du débit confirme l'amélioration de la qualité de l'eau à plusieurs stations en ce qui concerne le phosphore et les différentes formes d'azote. En revanche, pour les MES et la turbidité, l'ajustement des données diminuant de beaucoup l'effet du débit, l'analyse des tendances effectuée sur les données ajustées génère des résultats assez différents, qui mettent en évidence la situation qui aurait existé s'il n'y avait pas eu de hausse des débits au cours de la période.

L'utilisation des premières données du mois pour la seconde analyse des tendances ne modifie pas les résultats des tests effectués sur les données non ajustées en fonction du débit (tableau A4.2), sauf en ce qui concerne l'azote ammoniacal dans la rivière Fouquette où la tendance à la baisse devient non significative (tableaux 2 et 3).

2.2.6 Effet des baisses de phosphore sur la chlorophylle a

La chlorophylle a est utilisée comme indicateur de la biomasse algale dans la colonne d'eau. Les concentrations de chlorophylle a mesurées de mai à octobre (ajustées lorsque corrélées au débit) ont montré une baisse significative (par rapport au seuil de 5 %) à seulement deux des dix bassins versants (annexe 5), soit celui de la rivière des Îles Brûlées (station 3) et du ruisseau Saint-Esprit (station 10). Ainsi, les baisses de P total à huit stations n'ont eu un effet significatif sur les concentrations de chlorophylle a qu'à un nombre limité de stations. L'absence de baisse des concentrations de chlorophylle a dans la colonne d'eau à la plupart des stations n'exclut pas la possibilité d'une baisse de la chlorophylle a benthique dans le périphyton ou dans les macrophytes. Toutefois, les concentrations de chlorophylle a mesurées en fin de période confirment la nécessité de réduire davantage les

concentrations de nutriments (P et N) pour limiter l'eutrophisation des cours d'eau étudiés et des rivières dans lesquelles ils se déversent.

CONCLUSION

Les tendances de la qualité de l'eau dans dix bassins versants du Québec où la pollution diffuse est dominante ont fait l'objet de deux analyses, l'une basée sur les données non ajustées en fonction du débit et l'autre sur les données ajustées en fonction du débit. Les résultats montrent que les actions entreprises pour réduire la pollution diffuse, orientées principalement sur les sources de phosphore, ont permis d'améliorer la qualité de l'eau dans la plupart des rivières en ce qui concerne le phosphore et, dans certaines rivières, en ce qui concerne l'azote et les MES. Toutefois, les concentrations estimées à la fin de la période demeurent plus élevées que les critères de qualité de l'eau du Québec dans la plupart des rivières pour le phosphore. Les concentrations mesurées pour les autres paramètres de qualité de l'eau, comme les formes d'azote, les matières en suspension et les coliformes fécaux, demeurent également problématiques dans certaines rivières, ce qui confirme la nécessité de poursuivre les efforts d'assainissement. La tendance à la hausse de la turbidité dans certaines rivières requiert des efforts additionnels pour comprendre les facteurs impliqués. De l'information plus complète sur les pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle du bassin versant aiderait à mieux comprendre leur effet sur la qualité de l'eau.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AAC (Agriculture et Agroalimentaire Canada) (2010). *Évaluation des pratiques de gestion bénéfiques à l'échelle des bassins hydrographiques (EPBH)*, résumé technique n° 1 : Volet biophysique – Examen quadriennal (2004/5 - 2007/8). Ottawa, Canada, ISBN 9781100925240.

Baril, P., J. Gallichand et G. Debailleul (1998). *Projet bassin versant, rivière Bélair*, rapport final, projet n° 61-820205-13004, Entente auxiliaire Canada-Québec pour un environnement durable en agriculture.

BPR (Consultants BPR inc.) (2008). *Suivi 2007 du Portrait agroenvironnemental des fermes du Québec: rapport final*. Disponible à <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/md/Publications/Pages/Details-Publication.aspx?guid={3fcc5e09-ea9f-4cfa-a4db-91beff2a993b}> (consulté le 12 juin 2013).

Boutin, D. (2004). *Réconcilier le soutien à l'agriculture et la protection de l'environnement : tendance et perspectives*. Disponible à http://www.mddefp.gouv.qc.ca/milieu_agri/agricole/publications.htm (consulté le 28 mai 2013).

CEAEQ (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec) (2010). *Offre de services en analyses de laboratoire*. Disponible à <http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/analyses/index.htm> (consulté le 19 avril 2012).

Chambers, P.A., C. Vis, R.B. Brua, M. Guy, J.M. Culp et G.A. Benoy (2008). "Eutrophication of agricultural streams: defining nutrient concentrations to protect ecological condition", *Water Science and Technology*, 58(11), 2203-2210.

Enright, P., F. Papineau, B. Bujatzeck et C. Madramootoo (1999). *Recherche sur la qualité de l'eau du ruisseau Saint-Esprit*, rapport final, Université McGill, Montréal, Québec.

Gangbazo, G. et F. Babin (2000). « Pollution de l'eau des rivières dans les bassins agricoles », *Vecteur environnement*, 33(4), 47-57.

Gangbazo, G. et J. Painchaud (1999). « Incidence des politiques et programmes d'assainissement agricoles sur la qualité de l'eau de six rivières – 1988-1995 », *Vecteur environnement*, 32(1), 29-36.

Gangbazo, G., A.R. Pesant et G.M. Barnett (1997). *Effets de l'épandage des engrais minéraux et de grandes quantités de lisier de porc sur l'eau, le sol et les cultures*, Direction des écosystèmes aquatiques, ministère de l'Environnement et de la Faune, Québec, ISBN 2-550-32097-2.

Gangbazo, G., J. Roy et A. Le Page (2005). *Capacité de support des activités agricoles par les rivières : le cas du phosphore total*, [<http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/capacite-phosphore.pdf>].

Gazette officielle du Québec (GOQ) (1997). Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole (D. 742-97, 1997, G.O. 2, 3483). *Gazette officielle du Québec*, 18 juin 1997, vol. 129, n° 24, partie 2, p. 3483-3509.

Gilbert, R.O. (1987). *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York.

Hébert, S. (1997). *Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec*. Disponible à http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/rivieres/indice/index.htm (consulté le 28 mai 2013).

Hébert, S. et S. Légaré (2000). *Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau*. Disponible à http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/rivieres/sommaire.htm (consulté le 28 mai 2013).

Helsel, D.R. et R. M. Hirsch (2002). *Statistical Methods in Water Resources Techniques of Water Resources Investigations*, Book 4, chapter A3. U.S. Geological Survey. Disponible à <http://pubs.usgs.gov/twri/twri4a3/> (consulté le 13 août 2010).

Hirsch, R.M. et J.R. Slack (1984). "A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence", *Water Resources Research*, 20(6), 727-732.

Lettenmaier, D.P. (1976). "Detection of Trends in Water Quality Data from Records with dependant observations", *Water Resources Research*, 12(5), 1037-1046.

MDDEP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec) (2009), mis à jour en avril 2012. *Critères de qualité de l'eau de surface*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, ISBN-978-2-550-64798-0 (PDF), 510 p. et 16 annexes, [http://www.mddefp.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/criteres.pdf].

MDDEFP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec) (2013). *Le milieu agricole*. Disponible à http://www.mddefp.gouv.qc.ca/milieu_agri/inter.htm (consulté le 28 mai 2013).

MDDEP (Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec) (2010). *Banque de données sur la qualité du milieu aquatique*, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Québec.

Meals, D.W. et S.A. Dressing (2010). "Lag Time in Water Quality Response to Best Management Practices: A Review", *Journal of Environmental Quality*, 39, 85-96.

Michaud, A.R., J. Deslandes, J. Desjardins et M. Grenier (2009). *Réseau d'actions concertées en bassins versants agricoles*, rapport final de projet, Institut de recherche et de développement en agroenvironnement Québec, [http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/RapportActionsConcerteesBassins_2009_FINAL.pdf].

Patoine, M., S. Hébert et F. D'Auteuil-Potvin (2011). Water Quality Trends (non flow-adjusted) in the Last Decade for Ten Watersheds Dominated by Diffuse Pollution in Québec (Canada). Pages 239-248 dans E. van Bochove, P.A. Vanrolleghem, P.A. Chambers, G. Thériault, B. Novotná et M.R. Burkart (ed.), 2011. *Issues and Solutions to Diffuse Pollution: Selected Papers from the 14th International Conference of the IWA Diffuse Pollution Specialist Group, DIPCON 2010*. Conférence sur la pollution diffuse 2010 inc., Québec, Québec, Canada. 495 pages, [http://www.dipcon2010.org/DIPCON2010_Issues_and_Solutions_to_Diffuse_Pollution.pdf].

Patoine, M., S. Hébert et F. D'Auteuil-Potvin (2012). "Water Quality Trends in the Last Decade for Ten Watersheds Dominated by Diffuse Pollution in Québec (Canada)", *Water Science and Technology*, 65(6), 1095-1101. Disponible à <http://www.iwaponline.com/wst/06506/wst065061095.htm> (consulté le 30 mai 2012).

Programme Prime-Vert (2009). Publication 09-0013 (2009-04), Québec, [[http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/Trois_Lacs/documents/DB28\(comp\).pdf](http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/Trois_Lacs/documents/DB28(comp).pdf)]

SAS Institute (2003). *SAS/STAT 9.1 user's guide*. SAS Institute, Cary, NC. Disponible à <http://support.sas.com/91doc/docMainpage.jsp> (consulté le 22 mars 2010).

Smith, J.S. et C.P. Tran (2010). "A weight-of-evidence approach to define nutrient criteria protective of aquatic life in large rivers", *Journal of the North American Benthological Society*, 29(3), 875-891.

Annexe 1 Cultures et élevages dans les bassins versants en 2001 et 2006

Bassin versant à la station (numéro figure 1)	Cultures en 2001 et 2006 (hectares par kilomètre carré ou %)* **									
	Total		Grand interligne		Interligne étroit		Fourrage		Autre	
	2001	2006	2001	2006	2001	2006	2001	2006	2001	2006
Fouquette (1)	40	38	1	1	10	10	29	27	0,2	0,1
Boyer Nord (2)	58	62	19	21	11	13	27	27	0,2	0,3
Îles Brûlées (3)	77	76	28	29	5	5	45	42	0	0,1
Bras d'Henri (4)	62	65	21	23	5	5	36	37	0,1	0,2
Runnels (5)	36	36	16	16	2	1	18	19	0,2	0,2
Chibouet (6)	74	71	54	54	7	5	14	10	0,2	1
Des Hurons (7)	63	67	48	49	4	5	8	10	3	3
Aux Brochets (8)	33	32	19	19	2	2	11	10	0,9	1
Vacher (9)	76	79	55	52	6	12	14	14	0,4	0,3
Saint-Esprit (10)	64	70	45	49	8	13	11	8	0,3	0,1

Bassin versant à la station (numéro figure 1)	Élevages en 2001 et 2006 (unités animales par kilomètre carré)* **									
	Total		Bovin		Porcin		Volaille		Autre	
	2001	2006	2001	2006	2001	2006	2001	2006	2001	2006
Fouquette (1)	29	33	22	25	4	4	0,1	0	3	4
Boyer Nord (2)	152	128	39	38	103	79	8	9	2	2
Îles Brûlées (3)	363	298	72	67	258	213	32	17	1	1
Bras d'Henri (4)	520	459	177	159	337	295	5	4	1	1
Runnels (5)	98	79	21	20	72	54	4	4	1	1
Chibouet (6)	113	95	29	28	73	55	9	10	2	2
Des Hurons (7)	43	60	19	22	17	30	6	6	1	2
Aux Brochets (8)	51	46	17	16	29	26	3	3	2	2
Vacher (9)	32	31	20	18	9	8	2	4	1	1
Saint-Esprit (10)	29	35	20	18	4	5	3	10	2	2

* Les densités de cultures et d'élevages sont exprimées par rapport à la superficie totale du bassin versant.

** Les valeurs présentées pour la rivière aux Brochets (station 8) concernent les cultures et les élevages situés au Canada. La contribution de la partie du bassin versant située aux États-Unis (Vermont) peut être estimée à l'aide des données du recensement du Comté de Franklin pour 2002 et 2007 (USDA, 2007). L'ajout par kilomètre carré aux valeurs présentées représente environ 5 hectares pour les cultures et 5 unités animales pour les élevages. L'ajout à la densité animale concerne essentiellement l'élevage bovin, celui pour les autres élevages étant inférieur à 1 unité animale par kilomètre carré.

Les valeurs présentées sont basées sur les données par municipalité de Statistique Canada (2002, 2006) réparties par bassin versant au prorata de la superficie de chaque municipalité située dans le bassin, sauf pour les bassins versants numéros 2, 3, 4, 5, 9 et 10, où la répartition des élevages s'est faite à partir de la proportion des animaux dans le bassin établie à l'aide des données des visites des lieux d'élevage réalisées par le MDDEFP à compter de 2003 et répertoriées dans son Système d'aide à la gestion des opérations (SAGO).

Annexe 2 Informations sur les débits

Tableau A2 Stations de débit retenues pour l'ajustement des données de qualité de l'eau et hausse (valeur soulignée, en %) ou stationnarité (—) des débits pour la période s'étendant de 1999 à 2008

Station de qualité de l'eau		Station de débit pour l'ajustement des données de qualité de l'eau				
Station*	Cours d'eau	Numéro de station**	Rivière	Superficie drainée (km ²)	Rapport de superficie***	Hausse des débits (%) et valeur en début et en fin de période (m ³ /s)*****
1	Fouquette	022507	Du Loup	525	9,4	<u>51</u> % 3,672 – 5,545
2	Boyer Nord	023004	Boyer	200	6,7	<u>78</u> % 1,235 – 2,194
3	Des Îles Brûlées	023432	Bras d'Henri	137	6,2	<u>120</u> % 0,657 – 1,444
4	Bras d'Henri				2,9	
5	Runnels	030304	Noire****	1 490	15,2	<u>108</u> % 6,661 – 13,877
6	Chibouet	030316	David	316	1,9	— 1,196 – 1,611
7	Des Hurons	030415	Des Hurons	309	1,0	<u>110</u> % 0,899 – 1,893
8	Aux Brochets	030420	Aux Brochets	404	0,67	<u>61</u> % 2,417 – 3,899
9	Vacher	052229	Saint-Esprit*****	208	7,4	<u>40</u> % 1,405 – 1,967
10	Saint-Esprit				7,4	

* Numéro du bassin versant (figure 1) drainé à la station de qualité de l'eau.

** Les numéros indiqués sont les numéros de station de débit. Les données de débit pour chacune de ces stations sont disponibles sur le site Internet du Centre d'expertise hydrique du Québec à http://www.cehq.gouv.qc.ca/hydrometrie/historique_donnees/default.asp.

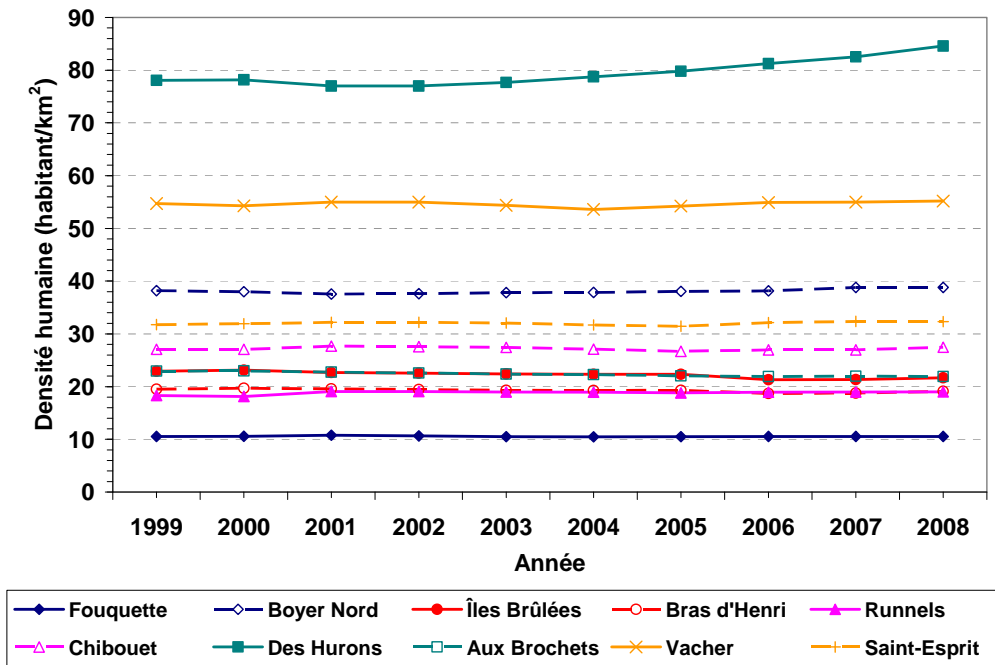
*** Rapport entre la superficie du bassin versant drainée à la station de débit et celle à la station de qualité de l'eau.

**** Le régime d'écoulement à cette station étant influencé journalièrement et le rapport de superficie étant élevé, les données de la station de débit à l'emplacement de la station de qualité de l'eau (numéro 030348) disponibles pour la période allant de juin 2000 à décembre 2008 ont aussi été utilisées pour valider les résultats de tendance de qualité de l'eau et de débit.

***** Les débits de la station de la rivière Saint-Esprit, disponibles de 1999 à 2006, ont été complétés à l'aide des débits spécifiques de la station du ruisseau Vacher (numéro 052234) pour la période allant de 2007 à 2008.

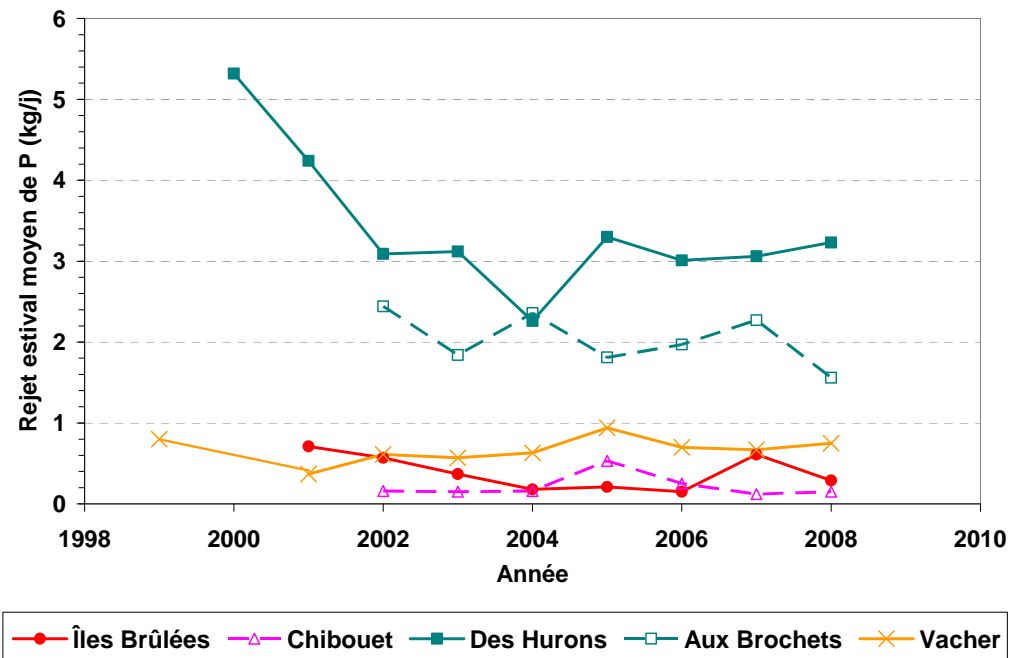
***** La hausse exprime le changement, significatif par rapport au seuil de 5 %, entre la valeur médiane au début et à la fin de la période s'étendant de 1999 à 2008, estimée à l'aide de la droite de tendance issue des méthodes non paramétriques (pente de Sen ou de Kendall). L'absence de changement significatif indique une stationnarité des débits pour la période. Les tests de tendance ont été réalisés à l'aide des données journalières de débit pour la période. Le test de Mann-Kendall saisonnier a été utilisé pour toutes les stations de débit sauf pour la station numéro 030420 où le test de Hirsch et Slack (1984) a été retenu.

Annexe 3 Évolution des sources humaines de contamination



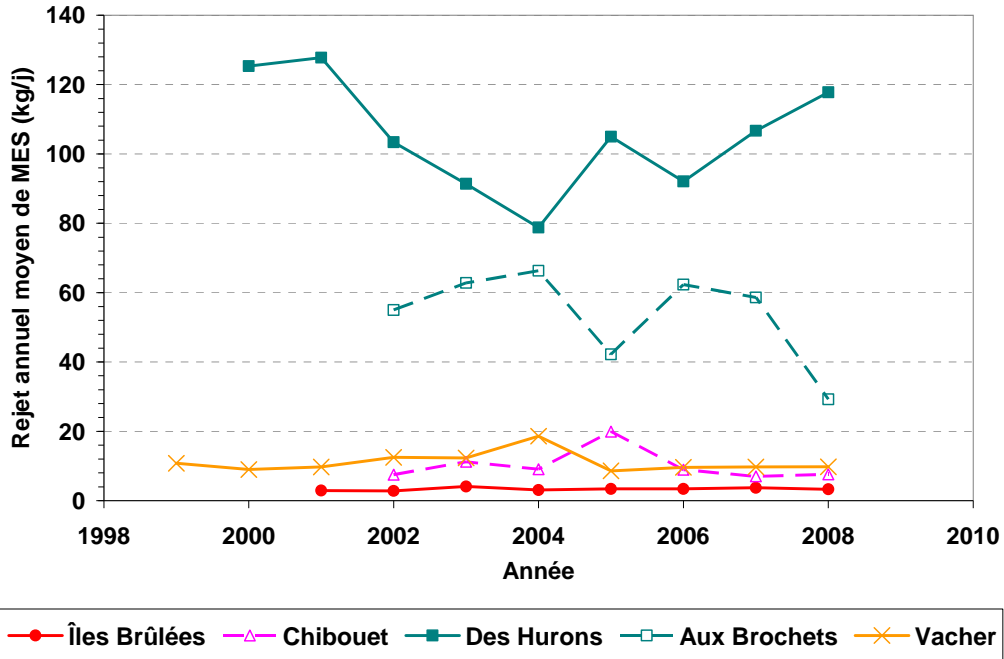
Source des données par municipalité : ISQ (2012). Données réparties au prorata de la superficie municipale dans le bassin versant.

Figure A3.1 Évolution de la densité humaine dans les bassins versants drainés aux dix stations



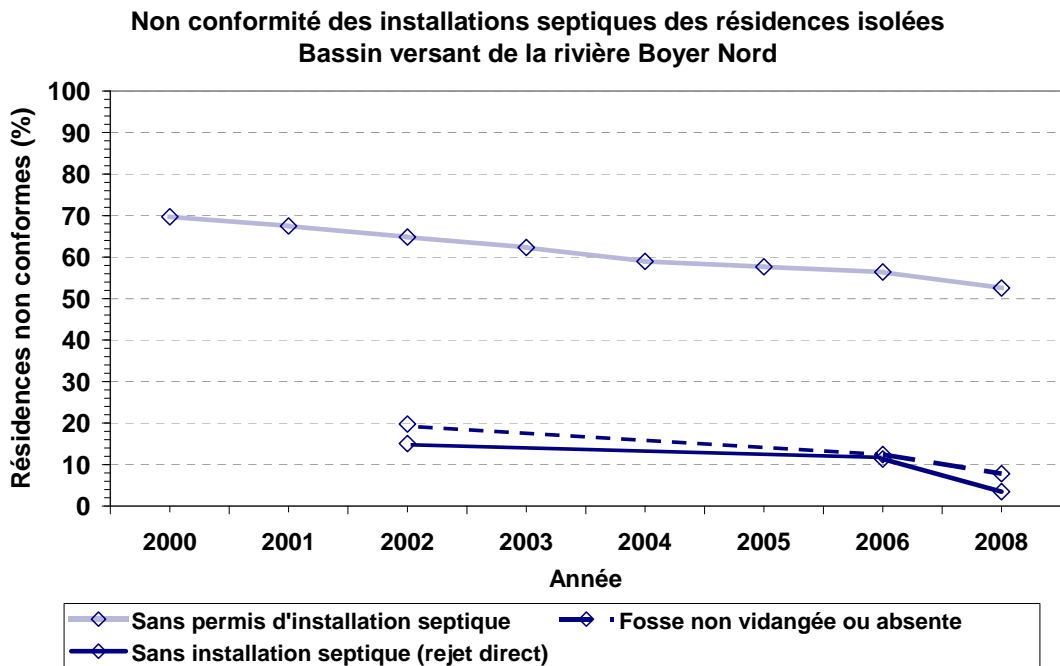
Source des données: MAMROT (2010) et MAMM (1999, 2000)

Figure A3.2 Évolution de la charge estivale moyenne de phosphore à l'effluent des stations d'épuration des eaux usées municipales des cinq bassins versants comportant de tels rejets



Source des données: MAMROT (2010) et MAMM (1999, 2000)

Figure A3.3 Évolution de la charge annuelle moyenne de matières en suspension à l'effluent des stations d'épuration des eaux usées municipales des cinq bassins versants comportant de tels rejets



Source des données par municipalité : MRC de Bellechasse (2012; 2009). Données réparties au prorata du nombre de résidences isolées dans le bassin versant.

Figure A3.4 Évolution du pourcentage des résidences isolées sans permis, sans vidange de fosse septique ou sans installation septique dans le bassin versant de la rivière Boyer Nord (station 2)

Tableau A3 Densité de résidences isolées et conformité des installations septiques

Station*	Cours d'eau	Densité de résidences isolées	Permis d'installation septique délivrés de 1999 à 2008	Résidences isolées sans installation septique ou avec rejet dans l'environnement			Gestion de la vidange des fosses septiques
		(nombre/km ²)**	(nombre/km ²)**	(nombre/km ²)**	(%)	(Année)	(Année et MRC ou RIAM)***
1	Rivière Fouquette****	3,5	0,6	n. d.*	n. d.	n. d.	2005 Kamouraska (M)
2	Rivière Boyer Nord	8,8	1,5	0,32	3,5	2008	2001 Bellechasse
3	Rivière des Îles Brûlées	1,7	n. d.	0,13	9,0	2010	2007 Nouvelle-Beauce
4	Rivière Bras d'Henri	4,9	n. d.	0,60	10	2010	2007 Nouvelle-Beauce
5	Ruisseau Runnels	4,8	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	2006 Haute-Yamaska 2011 RIAM
6	Rivière Chibouet	4,6	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	2007 Drummond (M); 2011 RIAM
7	Rivière des Hurons	8,0	1,1	n. d.	n. d.	n. d.	2011 RIAM 2012 Rouville
8	Rivière aux Brochets	4,1	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	2005, 2008***** Brome-Missisquoi
9	Ruisseau Vacher	10,1	n. d.	3,8	38	2003	Non prise en charge: Montcalm
10	Ruisseau Saint-Esprit	11,2	n. d.	0,07	0,7	2003	Non prise en charge: Montcalm

* Station = numéro du bassin versant (figure 1) drainé à la station de qualité de l'eau; n. d. = information non disponible.

** Les valeurs par kilomètre carré sont exprimées par rapport à la superficie totale du bassin versant.

*** Année de prise en charge de la gestion de la vidange des fosses septiques par la municipalité régionale de comté (MRC) ou par les municipalités (M) ou, dans le cas d'Acton et des Maskoutains, par la Régie intermunicipale d'Acton et des Maskoutains (RIAM).

**** Pour le bassin versant de la rivière Fouquette, Pouliot et Verreault (2001) ont établi pour l'année 2000 la non-conformité des résidences isolées à 81 % sur la base de l'absence d'un champ d'épuration annexé à la fosse septique. Cette information n'est toutefois pas disponible pour les autres bassins versants.

***** En 2005, 20 % des municipalités de la MRC de Brome-Missisquoi avaient pris en charge la gestion de la vidange des boues de fosses septiques sur leur territoire contre 40 % en 2008, selon le bilan 2003-2008 du plan de gestion des matières résiduelles de la MRC disponible à http://mrcbm.qc.ca/common/documentsContenu/docu_outils_bilanpgmr_2008.pdf.

Méthode de calcul de la densité de résidences isolées et de la conformité des installations septiques

La densité de résidences isolées a été estimée à l'aide des données par municipalité des plans de gestion des matières résiduelles publiés en 2003, 2004 ou 2006 et disponibles à http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/client/fr/gerer/municipalites/Plans_vigueur.asp. Les données manquantes ont été remplacées, pour Saint-Henri, par celles de la MRC de Bellechasse (2012), pour Mont-Saint-Hilaire, par celles de Filion (2012), et pour Richelieu, par celles de Nadeau (2013).

Le nombre de permis délivrés par kilomètre carré de 1999 à 2008 a été estimé à l'aide des données de chaque municipalité dans le bassin de la rivière Boyer Nord (MRC de Bellechasse, 2012; 2009). L'information sur les permis délivrés était disponible seulement pour la municipalité de Saint-Alexandre-de-Kamouraska (Lebel, 2012) dans le bassin de la rivière Fouquette et pour celles de Saint-Jean-Baptiste (Lauzier, 2012), Sainte-Marie-Madeleine (Dulude, 2012), Rougemont (Sanschagrin, 2012), Mont-Saint-Hilaire (Filion, 2012) et La Présentation (Bayard, 2012) dans le bassin versant de la rivière des Hurons. Ces municipalités occupent la moitié de la superficie des deux bassins versants.

Le nombre et le pourcentage de résidences isolées sans installation septique ou avec rejet dans l'environnement ont été estimés à l'aide des données de chaque municipalité dans le bassin versant des rivières Boyer Nord (MRC de Bellechasse, 2012; 2009) et des Îles Brûlées (MRC de la Nouvelle-Beauce, 2012) et des ruisseaux Vacher et Saint-Esprit (Dessau-Soprin inc. et Solinov inc., 2003). Pour la rivière Bras d'Henri, seules les données de Saint-Bernard et de Saint-Elzéar (MRC de la Nouvelle-Beauce, 2012), qui couvrent les deux tiers de la superficie du bassin versant, étaient disponibles.

Les données de densité de résidences isolées et de conformité des installations septiques étant uniquement disponibles à l'échelle municipale, les valeurs pour le bassin versant ont été calculées au prorata de la superficie municipale dans le bassin versant pour les bassins numéros 1, 6, 7, 8 et 9 et au prorata du nombre de résidences isolées de la municipalité dans le bassin versant pour les autres bassins.

Annexe 4 Tests statistiques utilisés pour les analyses de tendances

Tableau A4.1 Analyse de tendances effectuée sur les données non ajustées en fonction du débit

Station*	P total	Azote ammoniacal	Nitrates et nitrites	Azote total	MES	Turbidité	CF
Fouquette (1)	MKS	MKS	MKS	MKS	Sans test	MK	MKS
Boyer Nord (2)	MKS	MKS	HS	HS	MKS	MKS	MKS
Îles Brûlées (3)	MKS	HS	HS	HS	Sans test	MKS	MKS
Bras d'Henri (4)	MKS	HS	HS	HS	Sans test	MKS	MKS
Runnels (5)	Sans test	HS	HS	HS	MKS	MKS	MKS
Chibouet (6)	MKS	HS	HS	HS	MKS	MKS	MK
Des Hurons (7)	MKS	HS	MKS	HS	MK	MKS	Sans test
Aux Brochets (8)	HS	Sans test	MKS	MKS	Sans test	HS	Sans test
Vacher (9)	HS	HS	HS	HS	MKS	MKS	MKS
Saint-Esprit (10)	Sans test	MKS	HS	HS	MKS	MKS	MKS

* Nom du cours d'eau et numéro du bassin versant (figure 1) drainé à la station de qualité de l'eau.

Note : Approche non paramétrique : MKS, Mann-Kendall saisonnier; MK, Mann-Kendall; LMS, LettenMaier Spearmann; HS, Hirsch et Slack (1984). Pour le test de HS, les données manquantes ont été remplacées par la valeur médiane mensuelle calculée sur la période complète. « Sans test » indique qu'aucun test n'a été utilisé parce que la pente de la tendance était nulle. Tous les tests de tendance ont été appliqués sur les données non ajustées en fonction du débit.

Tableau A4.2 Analyse de tendances effectuée sur les données ajustées en fonction du débit

Station*	P total	Azote ammoniacal	Nitrates et nitrites	Azote total	MES	Turbidité	CF
Fouquette (1)	MKS_na	MKS_na	HS 5	HS 5	MK_na	MKS_na	MKS
Boyer Nord (2)	Tobit	Tobit	LMS	LMS	Tobit	MK	MK_na
Îles Brûlées (3)	MK	Tobit	LMS	HS 1	Tobit	MK	MK_na
Bras d'Henri (4)	MKS	Tobit	MKS	HS_na 18	Tobit	MKS	MKS
Runnels (5)	Sans test_na	Tobit	MK	HS 28	Tobit	LMS	MKS_na
Chibouet (6)	MKS_na	Tobit	Tobit	LMS	MKS	MKS	MKS
Des Hurons (7)	PL	MKS	MKS	HS_na 7	LMS	MKS	MKS_na
Aux Brochets (8)	PL	Tobit	Tobit	MKS	Tobit	HS 23	HS
Vacher (9)	HS_na 8	MKS_na	HS 11	MK	Tobit	MKS	MKS
Saint-Esprit (10)	Sans test_na	Tobit	HS 12	HS 12	Tobit	HS 21	MKS_na

* Nom du cours d'eau et numéro du bassin versant (figure 1) drainé à la station de qualité de l'eau.

Note : Approche non paramétrique : MKS, Mann-Kendall saisonnier; MK, Mann-Kendall; LMS, LettenMaier Spearmann; HS, Hirsch et Slack (1984). Pour le test de HS, les valeurs en italique indiquent le pourcentage de données manquantes remplacées par la valeur médiane mensuelle calculée sur la période complète. Approche paramétrique : Tobit, régression Tobit; PL, procédure LIFEREG (SAS). Les tests de tendance suivis par «_na » ont été appliqués aux données non ajustées en fonction du débit; « Sans test » indique qu'aucun test n'a été utilisé parce que la pente de la tendance était nulle.

Annexe 5 Variation des données ajustées en fonction du débit de 1999 à 2008 et valeur estimée à la fin de la période

Station*	Phosphore total	Phosphore dissous	Phosphore particulaire	Matières en suspension	Turbidité
Fouquette (1)	-63 % (0,015)	-90 % (0,003)	— (0,012)	— (6)	+63 % (10)
Boyer Nord (2)	-57 % (0,032)	-79 % (0,008)	— (0,027)	— (11)	— (12)
Îles Brûlées (3)	-56 % (0,114)	-83 % (0,036)	— (0,082)	-28 % (10)	— (10)
Bras d'Henri (4)	-67 % (0,078)	-77 % (0,043)	— (0,050)	— (9)	— (8)
Runnels (5)	— (0,080)	— (0,040)	— (0,053)	-37 % (8)	— (9)
Chibouet (6)	-52 % (0,061)	-74 % (0,026)	— (0,038)	— (19)	+62 % (21)
Des Hurons (7)	-42 % (0,128)	-57 % (0,055)	— (0,065)	— (50)	+86 % (61)
Aux Brochets (8)	-30 % (0,046)	-46 % (0,012)	-22 % (0,031)	— (13)	— (12)
Vacher (9)	-33 % (0,152)	-58 % (0,059)	— (0,092)	— (20)	— (21)
Saint-Esprit (10)	— (0,060)	-46 % (0,017)	+137 % (0,044)	— (11)	+128 % (9)

Station*	Azote ammoniacal	Nitrates et nitrites	Azote total filtré	Coliformes fécaux	Chlorophylle a
Fouquette (1)	— (0,04)	— (0,60)	— (1,04)	— (183)	— (1,9)
Boyer Nord (2)	-42 % (0,04)	— (2,60)	— (3,00)	— (449)	— (4,6)
Îles Brûlées (3)	-69 % (0,09)	-21 % (3,63)	-30 % (4,07)	— (568)	-58 % (2,5)
Bras d'Henri (4)	-34 % (0,09)	-37 % (2,47)	-35 % (3,00)	— (642)	— (5,8)
Runnels (5)	— (0,06)	— (0,64)	— (1,38)	— (345)	— (3,4)
Chibouet (6)	— (0,09)	— (2,57)	— (3,81)	— (173)	— (2,4)
Des Hurons (7)	— (0,44)	-35 % (2,39)	— (3,58)	— (1 200)	— (9,9)
Aux Brochets (8)	— (0,04)	— (0,90)	— (1,37)	— (365)	— (3,3)
Vacher (9)	-45 % (0,12)	-43 % (2,05)	-38 % (2,83)	— (624)	— (4,7)
Saint-Esprit (10)	-58 % (0,02)	— (1,61)	— (2,28)	— (153)	-53 % (1,7)

Les symboles indiquent une baisse (valeur négative, en %), une hausse (valeur positive soulignée, en %) ou l'absence de tendance (—). Les valeurs entre parenthèses indiquent la valeur ajustée en fonction du débit estimée à la fin de la période.

* Nom du cours d'eau et numéro du bassin versant (figure 1) drainé à la station de qualité de l'eau.

Note : La baisse ou la hausse exprime le changement, significatif par rapport au seuil de 5 %, entre la valeur médiane au début et à la fin de la période de 1999 à 2008, estimée à l'aide de la droite de tendance issue des méthodes non paramétriques (pente de Sen ou de Kendall). Seules les valeurs présentant une corrélation significative avec le débit ($p < 0,1$) ont été ajustées en fonction du débit pour l'analyse des tendances. Les valeurs entre parenthèses dans le tableau indiquent la concentration à la fin de la période, estimée à l'aide de la droite de tendance non paramétrique (ajustée en fonction du débit en présence de corrélation significative). Cette concentration est exprimée en mg/l P pour les formes de phosphore, en mg/l N pour les formes d'azote, en mg/l pour les MES, en UFC/100 ml pour les coliformes fécaux et en µg/l pour la chlorophylle a, alors que les valeurs de turbidité sont exprimées en UTN. Les valeurs de chlorophylle a présentées sont corrigées pour la présence de phéophytine a (CEAEQ, 2012).

Annexe 6 Baisse des concentrations de phosphore en rivière et des apports de phosphore dans les bassins versants

Tableau A6 Baisse des concentrations de phosphore total en rivière et des apports agricoles de phosphore estimés dans les bassins versants

Station*	Cours d'eau	Baisse du phosphore total en rivière** (µg/litre/an)	Baisse des apports agricoles de phosphore dans les bassins versants de 1999 à 2008*** (kg P/an/km ²)			
			Porcin	Volaille et dindon	Engrais minéraux	Total
1	Rivière Fouquette	2,6	-8****	0	55	47
2	Rivière Boyer Nord	4,3	513	35	77	625
3	Rivière des Îles Brûlées	15,0	1 177	649	-14	1 812
4	Rivière Bras d'Henri	17,5	1 456	63	22	1 541
5	Ruisseau Runnels	0,0	450	10	73	533
6	Rivière Chibouet	7,0	470	71	307	848
7	Rivière des Hurons	9,3	-120	26	250	156
8	Rivière aux Brochets	2,0	122	5	91	218
9	Ruisseau Vacher	7,5	53	-44	286	295
10	Ruisseau Saint-Esprit	0,0	-5	-189	93	-101

* Numéro du bassin versant (figure 1) drainé à la station de qualité de l'eau.

** Correspond à la pente de la droite de tendance des concentrations ajustées en fonction du débit issue des méthodes non paramétriques (pente de Sen ou de Kendall).

*** Baisse estimée associée au remplacement de l'ajout de P minéral dans les moulées porcines et de volailles par la phytase et à la diminution du P des engrais minéraux. L'estimation pour la phytase considère les cheptels des années 2001 et 2006.

**** Une valeur négative indique une hausse d'apport.

Méthode de détermination de la baisse des apports de P de source agricole dans les bassins versants

La réduction des apports de P résultant de l'utilisation de la phytase a été estimée, pour chacun des dix bassins versants, en considérant une diminution de 25 % du P dans les déjections animales des exploitations porcines et de volailles où la phytase a remplacé l'ajout de P minéral dans les moulées (BPR, 2008). Les proportions du cheptel utilisant de la phytase retenues pour le début de la période de tendance sont celles de l'année 1998 présentées par région administrative par Pigeon et Demers (2001) pour le porc et sur une base provinciale dans le cas de la volaille (BPR, 2008). Pour la fin de la période, les proportions par région administrative présentées par BPR (2008) pour l'année 2007 ont été utilisées pour le porc et la volaille. Les données sur le bétail et la volaille (nombre d'animaux par municipalité) proviennent du Recensement de l'agriculture 2001 et 2006 (Statistique Canada, 2002, 2006) et les valeurs sur l'excrétion de P du CPAQ (1998) pour le porc et du CRAAQ (2001) pour la volaille.

Le changement dans l'utilisation des engrais chimiques phosphatés pour chaque bassin versant a été estimé en utilisant le ratio des dépenses d'engrais et de chaux dans chaque bassin versant sur l'ensemble des dépenses au Québec (Statistique Canada, 2002, 2006), multiplié par les quantités d'engrais phosphatés vendues au Québec selon les données de l'Association des fabricants d'engrais du Québec (AFEQ) pour les années 2001 et 2006 respectivement.

Les données de Statistique Canada étant uniquement disponibles à l'échelle municipale, les valeurs à l'échelle du bassin versant ont été calculées au prorata de la superficie de chaque municipalité située dans les limites du bassin versant, sauf dans le cas des bassins versants de moins de 100 kilomètres carrés pour lesquels, en raison de l'imprécision de la méthode de répartition précédente pour les petits bassins versants, la répartition s'est faite à l'aide des données des visites des lieux d'élevage réalisées par le MDDEFP à compter de 2003 et répertoriées dans son Système d'aide à la gestion des opérations (SAGO).

Annexe 7 Références bibliographiques des annexes

Bayard, Sabrina, 14 juin 2012. (lpbatiment@mrcmaskoutains.qc.ca), *Demande d'informations – conformité des installations septiques*, [Courriel], (michel.patoine@mddefp.gouv.qc.ca).

BPR (Consultants BPR inc.) (2008). *Suivi 2007 du Portrait agroenvironnemental des fermes du Québec: rapport final*. Disponible à <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/md/Publications/Pages/Details-Publication.aspx?guid={3fcc5e09-9a9f-4cfa-a4db-91beff2a993b}> (consulté le 12 juin 2013).

CEAEQ (Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec) (2012). *Détermination de la chlorophylle a : méthode par fluorométrie*, MA. 800 – Chlor. 1.0, Rév. 2, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2012, 16 p., [<http://www.ceaeq.gouv.qc.ca/methodes/pdf/MA800Chlor10.pdf>].

CPAQ (Conseil des productions animales du Québec) (1998). *Estimation des rejets d'azote et de phosphore par les animaux d'élevage – bovins laitiers, bovins de boucherie, porcs*, Comité ad hoc sur l'agroenvironnement, Québec, Canada.

CRAAQ (Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec) (2001). *Estimation des rejets d'azote et de phosphore par les animaux d'élevage – productions avicoles*, Comité ad hoc sur l'agroenvironnement, Québec, Canada.

Dessau-Soprin inc. et Solinov inc. (2003). *MRC de Montcalm et L'Épiphanie, ville et paroisse, plan de gestion des matières résiduelles*, 11 novembre 2003. Disponible à http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/client/fr/gerer/municipalites/Plans_vigueur.asp (consulté le 18 décembre 2012).

Dulude, Julien, 4 juin 2012. (urbanisme@stemariemadeleine.qc.ca), *Demande d'infos - Sainte-Marie-Madeleine*, [Courriel], (michel.patoine@mddefp.gouv.qc.ca).

Filion, Josée, 31 mai 2012. (josee.filion@ville.mont-saint-hilaire.qc.ca), *Demande d'informations – conformité des installations septiques*, [Courriel], (michel.patoine@mddefp.gouv.qc.ca).

Institut de la statistique du Québec (ISQ) (2012). *Estimation de la population des municipalités du Québec au 1^{er} juillet des années 1996 à 2011*. Découpage géographique au 1^{er} juillet 2011. Données démographiques régionales, Population totale, 1996-2011 (fichier Excel), Mise à jour le 7 mars 2012. Direction des statistiques sociodémographiques. Disponible à http://www.stat.gouv.qc.ca/donstat/societe/demographie/dons_regnl/regional/index.htm (consulté le 30 mai 2012).

Lauzier, Sylvain, 29 mai 2012. (slauzier@msjb.qc.ca), *Conformité des installations septiques*, [Courriel], (michel.patoine@mddefp.gouv.qc.ca).

Lebel, Yvon, 27 juin 2012. (ylebel@stalexkamouraska.com), *Statistiques sur les fosses et puisards*, [Courriel], (michel.patoine@mddefp.gouv.qc.ca).

MAMM (Ministère des Affaires municipales et de la Métropole du Québec) (1999). *Fiches d'évaluation de performance pour l'année 1999*. Direction des infrastructures.

MAMM (Ministère des Affaires municipales et de la Métropole du Québec) (2000). *Fiches d'évaluation de performance pour l'année 2000*. Direction des infrastructures.

MAMROT (Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire) (2010). *Évaluations annuelles de performance des ouvrages municipaux d'assainissement des eaux, années 2001 à 2009*. Disponible à <http://www.mamrot.gouv.qc.ca/infrastructures/suivi-des-ouvrages-dassainissement/#c1615> (consulté le 30 mai 2012).

MRC de Bellechasse (2009). Communication personnelle de P. Blais, présentée au tableau 39 dans OBV Côte-du-Sud/GIRB, 2011, Plan directeur de l'eau du bassin de la rivière Boyer. Disponible à http://www.obvcotedusud.org/portrait.html#pde_obv (consulté le 20 juin 2012).

MRC de Bellechasse (2012). Communication personnelle de Sylvie Côté, 16 mai 2012. (scote@mrcbellechasse.qc.ca), *Demande d'informations – conformité des installations septiques*, [Courriel], (michel.patoine@mddefp.gouv.qc.ca).

MRC de la Nouvelle-Beauce (2012). Communication personnelle de Denis Boutin, 14 juin 2012. (denisboutin@nouvellebeauce.com), *Données fosses septiques*, [Courriel], (michel.patoine@mddefp.gouv.qc.ca).

Nadeau, Mona, 8 janvier 2013. (m.nadeau@ville.richelieu.qc.ca), *Résidences isolées non raccordées*, [Courriel], (michel.patoine@mddefp.gouv.qc.ca).

Pigeon, S. et I. Demers (2001). « Le suivi des plans des interventions agroenvironnementales », article publié dans *Porc Québec* - Octobre 2001, [<http://www.agrireseau.qc.ca/porc/Documents/Environnement%2010-01.pdf>].

Pouliot, G et G. Verreault (2001). *Plan directeur de conservation et de gestion intégrée des ressources du bassin versant de la rivière Fouquette*. Société de la faune et des parcs du Québec, [http://fouquette.qc.ca/uploads/media/PDE_2001.pdf].

SANSCHAGRIN, Damien, 30 mai 2012. (dg@rougemont.ca), *Demande d'informations – conformité des installations septiques*, [Courriel], (michel.patoine@mddefp.gouv.qc.ca).

Statistique Canada (2006). *Recensement de l'agriculture de 2006*. Disponible à <http://www.statcan.gc.ca/pub/95-629-x/2007000/4123856-fra.htm> (consulté le 3 janvier 2013).

Statistique Canada (2002). *Recensement de l'agriculture de 2001*, Données sur les exploitations agricoles diffusion complète. CD-ROM numéro 95F0304XCB.

USDA (United States Department of Agriculture), 2007. Census of agriculture - County Data. USDA, National Agricultural Statistics Service. Disponible à http://www.agcensus.usda.gov/Publications/2007/Full_Report/Volume_1,_Chapter_2_County_Level/Vermont/ (consulté le 22 novembre 2012).